



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

ENERGETICKÉ VYUŽITÍ BIOMASY

ENERGY USE OF BIOMASS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michal Ošťádal

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Marek Baláš, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Michal Ošťádal**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **doc. Ing. Marek Baláš, Ph.D.**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Energetické využití biomasy

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V poslední době je biomasa velmi oblíbeným palivem pro domovní vytápění i jako zdroj energie pro centrální zásobování teplem či výrobu elektrické energie. Na jednu stranu je biomasa obnovitelný zdroj energie, či zdroj, který si umíme vyrobit (vypěstovat), na druhou stranu její využívání má zpravidla nižší účinnost než zdroje jiné, její spalovací vlastnosti nejsou optimální a mluví se i o některých negativních jevech s využíváním biomasy souvisejících.

Student se ve své práci bude zabývat popisem procesu získávání biomasy, těžbou, transportem, úpravou a následným energetickým využitím.

Cíle bakalářské práce:

- zpracování přehledu mechanismů energetického využití biomasy
- popis technologického řetězce biomasy
- tvorba bilance a statistik těžby a energetického využívání biomasy
- příklady energetických zdrojů využívající biomasu

Seznam doporučené literatury:

BALÁŠ, Marek. Kotle a výměníky tepla. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4770-7.

JANDAČKA, Jozef. Technologie pre zvyšovanie energetickeho potencialu biomasy. 1. Žilina: BALPO, 2007. ISBN 978-80-969595-4-9.

MALATÁK, Jan a Petr VACULÍK. Biomasa pro výrobu energie. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2008. ISBN 978-80-213-1810-6.

QUASCHNING, Volker. Obnovitelné zdroje energií. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-2-7-3250-3.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Hlavním cílem bakalářské práce je rešeršní zpracování technologií na přeměnu biomasy s následným energetickým využitím. Na začátku práce je rozebrána podstata biomasy jako energetického zdroje. Další část se věnuje jednotlivým technologiím. Následující část se zabývá spalovacím a bioplynovým řetězcem. Předposlední kapitola se zabývá vybranými energetickými zdroji. Poslední kapitola je statistické zpracování emisí, těžby, výroby elektřiny a tepla z obnovitelných zdrojů a biomasy.

Klíčová slova

Biomasa, spalování, zplyňování, pyrolýza, esterifikace, fermentace, pelety, štěpka, bioplyn, bioplynové stanice, kogenerace, teplárny, elektrárny

ABSTRACT

The main aim of this bachelor thesis is to search for technologies for biomass conversion with subsequent energy utilization. At the beginning of the work is analyzed the nature of biomass as an energy source. The next part deals with individual technologies. The following section deals with combustion and biogas chains. The penultimate chapter deals with chosen energy sources. The last chapter is statistical processing of emissions, mining, electricity and heat production from renewable sources and biomass.

Key words

Biomass, combustion, gasification, pyrolysis, esterification, fermentation, pellets, wood chips, biogas, biogas plant, cogeneration, heating plants, power plants

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

OŠŤÁDAL, M. *Energetické využití biomasy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2019. 57 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Marek Baláš, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Energetické využití biomasy vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu.

V Brně dne 10.5. 2019

Michal Ošřádal

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval doc. Ing. Markovi Balášovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování a vedení bakalářské práce.

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	BIOMASA.....	16
2.1	BILANCE OXIDU UHLÍČITÉHO	16
2.2	VLASTNOSTI BIOMASY	16
2.2.1	Výhřevnost a spalné teplo	16
2.2.2	Obsah vlhkosti	17
2.2.3	Složení	18
2.2.4	Velikost a hustota paliv	18
3	DRUHY ZPRACOVÁNÍ BIOMASY	20
3.1	TERMICKÉ A TERMOCHEMICKÉ PŘEMĚNY (SUŠÉ PROCESY)	20
3.1.1	Přímé spalování	20
3.1.2	Pyrolýza	21
3.1.3	Zplyňování	22
3.2	BIOCHEMICKÉ PŘEMĚNY (MOKRÉ PROCESY)	23
3.2.1	Aerobní fermentace	23
3.2.2	Alkoholová fermentace	24
3.2.3	Anaerobní fermentace (=výroba bioplynu)	26
3.3	FYZIKÁLNĚ-CHEMICKÉ ZPRACOVÁNÍ	28
3.3.1	Esterifikace surových olejů	28
3.4	MECHANICKÉ ZPRACOVÁNÍ	29
3.4.1	Stříhací zařízení	29
3.4.2	Drtiče	29
3.4.3	Sekačky (=štěpkovače)	30
3.4.4	Peletování a briketování	31
4	POPIS TECHNOLOGICKÉHO ŘETĚZCE	33
4.1	SPALOVACÍ ŘETĚZEC	33
4.1.1	Těžba	33
4.1.2	Úprava	33
4.1.3	Transport	33
4.1.4	Typy spalování	34
4.1.5	Spalovací zařízení	35
4.2	BIOPLYNOVÝ ŘETĚZEC	36
4.2.1	Těžba, principy a úpravy	37
4.2.2	Využití bioplynu a spalovací zařízení	38
5	TVORBA BILANCE A STATISTIK TĚŽBY A ENERGETICKÉHO VYUŽÍVÁNÍ BIOMASY	39
5.1	VÝROBA ELEKTŘINY A TEPLA Z OZ	39
5.2	ENERGETICKÉ VYUŽITÍ DLE TYPU BIOMASY	40
5.3	VÝVOJ TĚŽBY, HOLIN A ZALESŇOVÁNÍ	41
6	VYBRANÉ ENERGETICKÉ ZDROJE	42
6.1	TEPLÁRNA TŘEBÍČ	42
6.1.1	Teplárna SEVER	42
6.1.2	Teplárna JIH	42
6.1.3	Teplárna ZÁPAD	42
6.2	TEPLÁRNA PLZEŇ – „BIOBLOK“	43
6.3	ELEKTRÁRNA HODONÍN	44
6.4	SHRNUTÍ	46
7	ZÁVĚR	47

8	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	48
9	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	55
10	SEZNAM OBRÁZKŮ	56
11	SEZNAM TABULEK.....	57

1 ÚVOD

Hlavní problematikou dnešního světa je jednoznačně globální oteplování, tenčící se zásoby fosilních paliv a hlad po energii. I v dnešní době tu jsou tací, kteří odmítají a popírají globální oteplování, především kvůli byznysu a politice. Hlavní snahou je nahradit fosilní paliva obnovitelnými zdroji, do kterých se řadí i biomasa. Přesto ne každý se o to snaží. Řeč je o rozvojových zemích. Na druhou stranu i samotné vyspělé země mají problém přestavět většinu své energetiky. Rozhodně bude zajímavé, jak a do jaké míry se lidstvu podaří tento úkol naplnit.

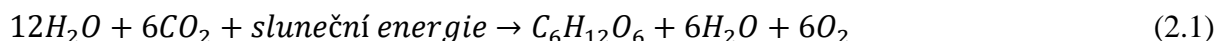
Pro efektivní využívání obnovitelných zdrojů hraje důležitou roli i geografická poloha. V ČR je biomasa možným kandidátem vzhledem k poloze. Pokud daná země přestoupí na alternativní zdroje, vždy bude její energetika složená z kombinace různých zdrojů.

Důležité je zamyslet se, jaký podíl by energetické využití biomasy mělo zaujímat. Při procesech získávání energie se využívá nemalého množství biomasy. Dochází k těžení lesů a nahrazování plodin na jídlo za energetické plodiny. Biomasa se tedy záměrně pěstuje nebo záměrně těží a bude otázkou, do jaké míry, aby nedošlo k závažnému narušení biosféry.

2 BIOMASA

Hlad po energii začal už před 790 000 lety, co člověk objevil oheň. Biomasa byla nejpoužívanějším zdrojem energie do doby objevení a zjištění energetického potenciálu fosilních paliv. Nicméně se vzrůstající spotřebou energie vzrůstala i spotřeba fosilních paliv, jednoho z největších viníků globálního oteplování. Při spalování fosilních paliv se uvolňují skleníkové plyny, především oxid uhličitý (CO_2), což je velký problém pro životní prostředí. Hlavním cílem je snižovat tyto emise uhlíku. Tyto cíle byly vysloveny v roce 1997 v tzv. Kjótském protokolu. Současným trendem v energetice jsou obnovitelné zdroje, snažící se snížit obrovský podíl výroby energie pomocí fosilních paliv [1]. Biomasa se dá definovat jako nefosilní organický materiál, který obsahuje energetickou vazbu uhlíku. Pod pojmem biomasa si můžeme představit biologicky rozložitelné komunální odpady, lesní a zemědělské zbytky, biosolidy a některé průmyslové odpady [2].

Biomasa vzniká pomocí procesu fotosyntézy. Fotosyntéza se označuje za nejdůležitější děj v přírodě, při kterém se v rostlinách mění oxid uhličitý (CO_2), voda (H_2O) a pomocné látky na biomasu, vodu a kyslík (O_2) za přítomnosti sluneční energie. Pro většinu živočichů je kyslík nezbytnou látkou pro žití, ale kyslík je pouze odpadový materiál fotosyntézy. Pokud se pominou pomocné látky, tak při nejjednodušším případě fotosyntézy vzniká glukóza (=hroznový cukr – $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$). Tento děj vyjadřuje chemická rovnice [1] [3]:



2.1 Bilance oxidu uhličitého

Rostliny při procesu fotosyntézy na sebe navazují oxid uhličitý, takže při spalování se uvolní pouze takové množství, které rostliny na sebe navázaly v průběhu celé jejich existence. Spalování biomasy se tedy vyznačuje svou nulovou bilancí CO_2 . Každopádně je důležité si uvědomit, že se jedná pouze o proces spalování. Předcházející procesy už nemají nulovou bilanci CO_2 , řeč je o kácení, dopravě apod. Tyto procesy stále fungují na bázi fosilních paliv [4]. Další nezanedbatelnou částí je podíl vykácené a nově vyrostlé biomasy. Podíl vykácené biomasy je totiž větší, pokud se bavíme v globálním měřítku, a tím se podíl CO_2 opět zvyšuje. Rostliny tedy nestíhají pohlcovat nadbytečný oxid uhličitý [5].

2.2 Vlastnosti biomasy

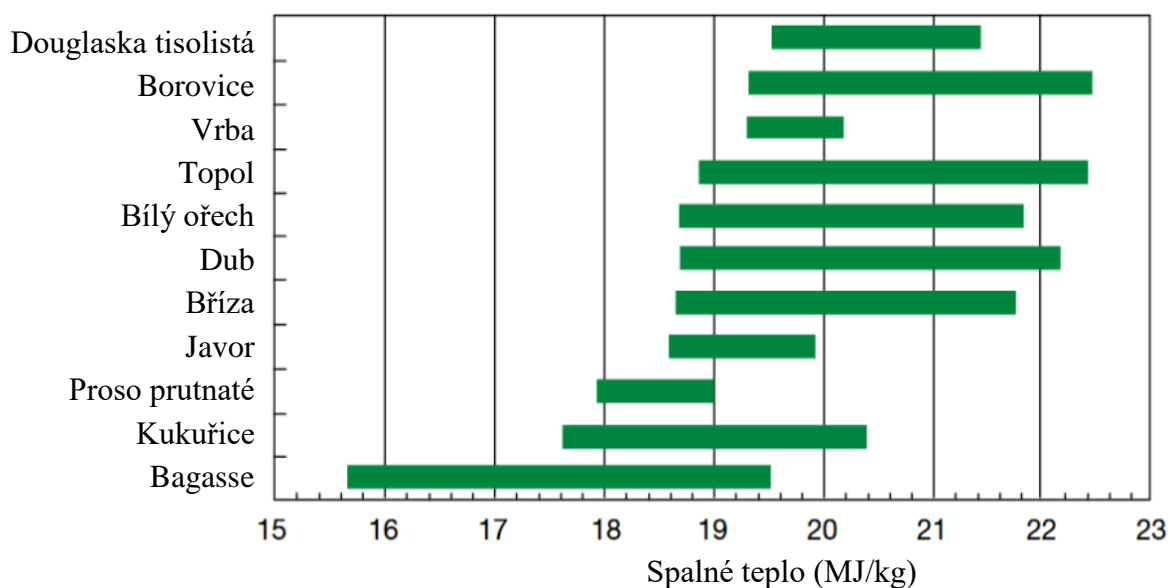
Biomasa jako potenciální palivo se dá charakterizovat svými vlastnostmi. Mezi nejzákladnější patří výhřevnost, spalné teplo, obsah vlhkosti, složení, velikost a hustota paliva.

2.2.1 Výhřevnost a spalné teplo

Důležitá vlastnost paliva, která udává celkové množství energie, co je v palivu k dispozici. Hodnota energie se u jednotlivých typů rostlin liší jen nepatrně. Je podmíněna chemickým složením půdy, druhem podnebí a dalšími vlivy, kde se rostlina pěstuje. Z toho plyne, že výhřevnost se může pro stejnou rostlinu lišit. V tom případě se bude jednat o interval, což ukazuje obrázek 2.1 [6].

HHV (Higher heating value) neboli spalné teplo je množství tepelné energie, která je v palivu dostupná, včetně energie ve vodní páře, vodní pára ze spalin zkondenzuje. LHV (Lower heating

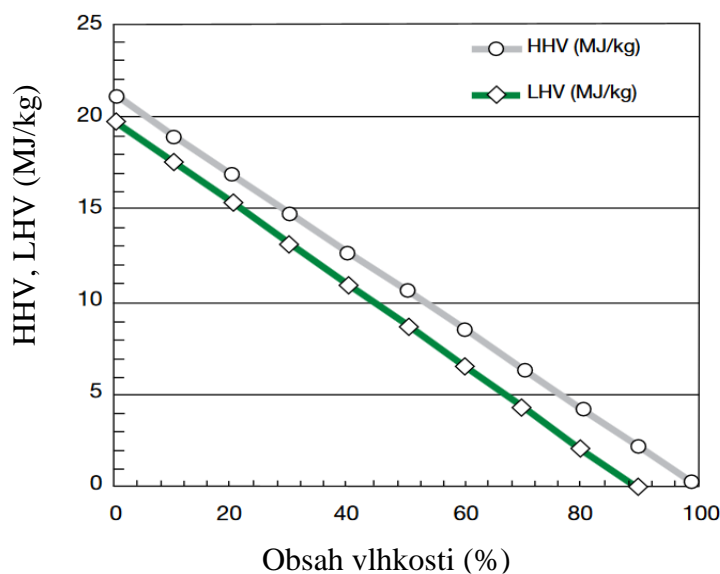
value) neboli výhřevnost je množství tepelné energie v palivu, ale bez energie vodní páry, vodní pára ve spalinách nezkondenzuje [6].



Obr. 2.1 Hodnoty spalného tepla pro daný typ biomasy [6]

2.2.2 Obsah vlhkosti

Obsah vlhkosti je dalším důležitým parametrem z hlediska výhřevnosti paliva. Se snižujícím se množstvím vlhkosti (respektive vody v palivu) roste výhřevnost paliva. Pokud je v palivu nějaká voda, tak se značná část energie spotřebuje na ohřev této vody a její následné odpaření. Extrémně suché palivo je dobré pro svou hodnotu výhřevnosti, avšak toto palivo může způsobit řadu problémů [6].



Obr. 2.2 Závislost výhřevnosti a spalného tepla na obsahu vlhkosti [6]

Obsah vody v palivu se dá vyjádřit vztahem [7]:

$$W = \frac{H_1 - H_2}{H_1} \cdot 100 \% \quad (2.2)$$

H_1 ... hmotnost surové dřevní hmoty [kg]

H_2 ... hmotnost vzorku po vysušení [kg]

2.2.3 Složení

Na výši energie obsažené v palivu se podílí i jeho složení. Mezi čtyři nejvýznamnější parametry patří obsah popela, náchylnost k struskování, znečištění a procento těkavých látek [6].

Tab. 2.1 Složení vybraných paliv [6]

Palivo	Obsah popelu (%)	Těkavé látky (%)
Dřevo, očištěné a suché	0,3	82
Kůra, suchá	1,2	70
Proso prutnaté	5,2	76
Kukuřice	5,6	75
Uhlí	12	35

Obsah popela (nehořlavý materiál) je dalším důležitým parametrem. Tráva a kůra tvoří více popela než samotné dřevo. Větší množství popela může snížit účinnost spalování a může vést k znečištění a někdy až k ucpání mechanismu. Ideální situace nastává, když je popel ve formě prášku po celou dobu. V takovém případě se dá jednoduše odstranit ofukem. Problém nastává, když se začne roztavovat a vytvářet strusku. Procento těkavých látek nám říká, že po zahřátí paliva na vysokou teplotu se zlomek paliva snadno odpaří na plyn. Vysoce těkavé látky mají tendenci se odpařit již před spalováním [6].

2.2.4 Velikost a hustota paliv

Další důležitý faktor pro spalování je velikost a hustota paliva. Ovlivníme tím rychlost ohřevu a následné sušení paliva. Velikost je důležitá nejen z hlediska spalování, ale i pro manipulaci, protože větší palivo se může snáze zaseknout než malé [6].

Tab. 2.2 Velikost a hustota paliv [6]

Palivo	Délka (m)	Sypná hmotnost (kg/m³)
Piliny	0,0003-0,002	300
Nakrájená sláma	0,005-0,025	60
Zelená dřevní štěpka	0,025-0,075	500
Dřevěné pelety	0,006-0,008	600
Brikety	0,025-0,010	600

3 DRUHY ZPRACOVÁNÍ BIOMASY

Biomasa obsahuje velké množství naakumulované energie slunečního záření. Přeměna tohoto slunečního záření na energii se vyznačuje svou nízkou účinností. Energie naakumulovaná v rostlinách je dlouhodobá a dá se získat pomocí různých dějů, procesů nebo zpracování [8].

Podle procentuálního zastoupení vody je biomasa:

- Suchá – pod pojmem suchá biomasa se dá představit dřevní a suchý rostlinný odpad jako je dřevo, piliny, sláma apod. Výhodou je, že suchá biomasa se může spalovat přímo, nicméně pro efektivní využití se dále upravuje a dosušuje. Suchá biomasa se nejčastěji zpracovává pomocí tzv. suchých procesů [8].
- Mokrá – vyznačuje se svým vysokým obsahem vody, proto tedy nehoří. Obsah vody v biomase je vyšší než 50 %. Jsou to výkaly hospodářských zvířat, siláž, odpady z jatek nebo potravinářské zbytky. Využití této mokré biomasy je zejména v bioplynových stanicích [9].
- Speciální biomasa – do této skupiny patří plodiny jako olejniny, škrbové a cukernaté plodiny. Výstupní látky jsou poté bionafta a líh [10].

3.1 Termické a termochemické přeměny (suché procesy)

Ohřev za přítomnosti nebo nepřítomnosti kyslíku za účelem přetvořit biomasu na určitou formu energie. Do termických a termochemických přeměn se řadí přímé spalování, pyrolýza, zplyňování a torefikace [11].

3.1.1 Přímé spalování

Přímé spalování se řadí mezi nejčastější případ termické přeměny biomasy za přítomnosti kyslíku. Děj spalování je na vysoké technologické úrovni. Je to taky nejsnazší způsob přeměny biomasy na teplo. Pracovními látkami pro spalování jsou palivo, okysličovadlo a produkty spalovacího pochodu. Za palivo se dá považovat jakákoliv hořlavá látka, která má dostatečnou výhřevnost za přítomnosti okysličovadla. Okysličovadlo se skládá převážně z kyslíku, nejčastějším okysličovadlem bývá vzduch [12] [13].

Nejdříve se vypaří spalitelné páry, pozorovatelné jako plamen. Zbytkový materiál, který je ve formě dřevěného uhlí, se spaluje pomocí dalšího přiváděného vzduchu pro získání většího množství energie (=tepla). Spaliny se občas používají přímo na vysušení dalšího paliva, ale častěji se odvádějí do výměníků k ohřevu. Následně pomocí spaliny se získá horká voda, horký vzduch nebo pára. Vzniklé teplo se využívá pro vytápění nebo na výrobu elektrické energie přivedením přehřáté páry na turbínu [12].

Problémem u spalování je složení spaliny. Nežádoucí produkt spalování je oxid uhličitý, dehet, kouř a částice popela. Dalším produktem spalování je vodní pára, která je z hlediska ekologie neškodná. Z ekologické stránky je velmi důležité zachytit a minimalizovat unikání těchto emisí. Spalování jako takové se vyznačuje svou poměrně dobrou účinností získávání energie z paliva. Tato účinnost se pohybuje v rozmezí 65-90 %. Záleží na různých aspektech, ale nejdůležitějším aspektem je vlhkost daného paliva. Kvůli rozmanitosti jednotlivých paliv a požadavků byly vytvořeny různé konstrukce spalovacích zařízení. Těmto konstrukcím se bude věnovat čtvrtá kapitola [12].

Spalování biopaliv lze vyjádřit pomocí následujících chemických rovnic, kde se slučují hořlavé látky se vzduchem. Tyto reakce se označují jako exotermické [7].



Dusík se spalovací reakce nijak zvlášť neúčastní. Nicméně odchází jako odpadová složka, která se slučuje s kyslíkem, a tím vznikají škodlivé plyny jako je NO a NO₂ [7].

3.1.2 Pyrolýza

Pyrolýza biomasy je v podstatě tepelný rozklad za nepřítomnosti kyslíku. Produktem tohoto děje je pyrolýzní uhlí, bio-olej a plyny jako je metan, vodík, oxid uhelnatý a oxid uhličitý. Teplota pro tento děj je zásadní kvůli výslednému produktu. Při teplotách nižších než 450 °C a pomalém ohřevu bude produktem pyrolýzní uhlí. Naopak u teplot přesahujících 800 °C s rychlým ohřevem budou vznikat převážně jen plyny. U středních teplot s rychlým ohřevem následně vzniká bio-olej. Jako vstupní materiál pro pyrolýzu se může použít široká škála biomasy [14] [15] [16].

Samozřejmě i u pyrolýzy je důležitým faktorem vlhkost paliva, která ovlivní výstupní produkt pyrolýzy. Vlhkost by se měla pohybovat kolem 10-15 %. Při nízkém obsahu vlhkosti se totiž může stát, že bude nedostatek vody a vznikne v podstatě prach namísto chtěného oleje. U vysokého obsahu je naopak vody moc, proto u surovin s vysokou vlhkostí se provádí ještě sušení. Dalším podstatným faktorem je velikost, která ovlivňuje účinnost a povahu. Velikost částic u pyrolýzy může být maximálně 2 mm. To znamená, že biomasu před vstupem musíme mechanicky upravit na malé rozměry. Pyrolýza se dělí na pomalou, rychlou a pražení [14] [15] [16].

Pomalá pyrolýza trvá řádově několik hodin s teplotou pod 400 °C, při atmosférickém tlaku a velmi pomalém ohřevu, který se pohybuje od 0,01 °C/s do 2 °C/s. Hlavním produktem pomalé pyrolýzy je pak pyrolýzní uhlí a sekundárním produktem syntetický plyn a pyrolýzní olej [17] [18].

Rychlá pyrolýza nastává při nízkém tlaku, za krátkou dobu a rychlého ohřevu (od 8 °C/s až 18 °C/s). Pro rychlou pyrolýzu je důležitá teplota, která se musí pohybovat okolo 500 °C, rychlé ohřátí a rychlé ochlazení kvůli kondenzaci par a aerosolů. Rychlá pyrolýza produkuje tři suroviny: 15-25 %_{hm.} pyrolytické uhlí, 60-75 %_{hm.} pyrolytický olej a 10-20 %_{hm.} syntetických plynů [18] [19].

Pražení (=torefikace) se může řadit pod pyrolytický děj. V podstatě se jedná o přeměnu biomasy na materiál podobný uhlí, který má lepší vlastnosti než vstupní materiál. Toto uhlí je velmi křehké, což umožňuje snadnější mletí a tím pádem nižší energetickou náročnost. Lépe se skladuje kvůli tomu, že nemá sklony k absorpci vody. Produktem pražení je pouze tohle uhlí, které má podobné vlastnosti černému uhlí. Pražená biomasa se bere jako alternativní zdroj

energie, může být formována do tvaru pelet, má poměrně dobrou výhřevnost a podíl popelovin je nízký [18] [20].

3.1.3 Zplyňování

Zplyňování biomasy je termochemický proces hoření biomasy, která je v pevném nebo kapalném skupenství, bez přísunu vzduchu. Produktem je pak plyn, který se skládá z oxidu uhelnatého, oxidu uhličitého, vodíku, methanu, vody, dusíku a malých pevných částic, které se označují jako nečistoty (popel, prach, sloučeniny síry apod.). Následně se tato směsice plynů očišťuje od těchto pevných částic. Zplyňování se dělí na 4 fáze: sušení, pyrolýzu, oxidaci a redukci. Sušení, pyrolýza a redukce jsou endotermické reakce (spotřebovávají teplo) [21].

Sušení – se provádí kvůli snížení vlhkosti. Probíhá za teplot do 200 °C. Tento proces spotřebuje velké množství tepla. Optimální vlhkost paliva je 15 % [22].

Pyrolýza – se zvyšující teplotou se ze suché biomasy začínají uvolňovat plyny. Tyto vzniklé plyny se dělí na zkondenzovatelné (páry) a nezkondenzovatelné (metan, vodík, oxid uhličitý, oxid uhelnatý, ...). Zbytek po této reakci je ve formě tuhé části (=koks), která obsahuje uhlík a minerální materiál [22] [23].

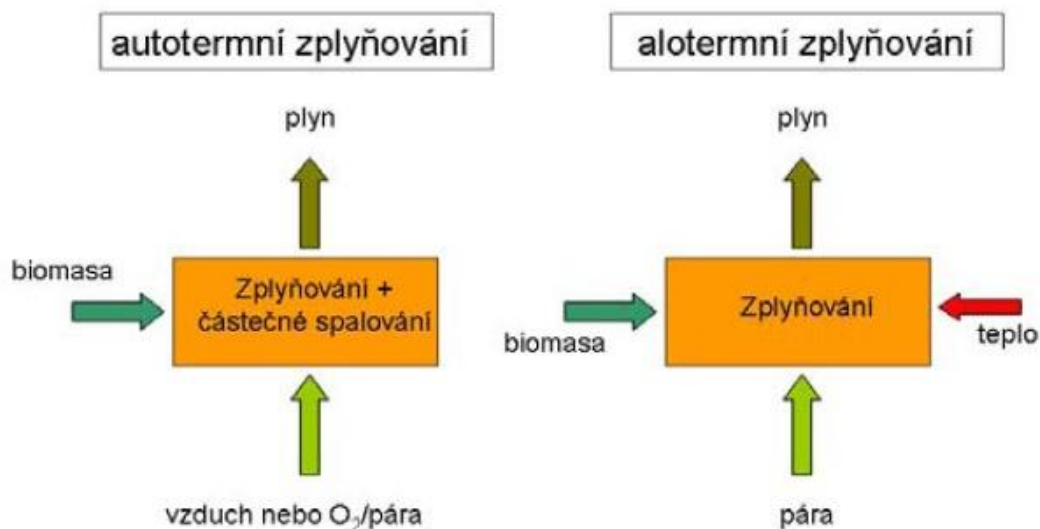
Oxidace (=hoření) – nastává za přítomnosti reaktivního plynu (vzduch nebo kyslík), který upravuje vlastnosti výsledného plynu. Nejčastěji se používá vzduch jako reaktivní plyn. Oxidace není endotermický děj a nejčastěji zajišťuje teplo pro ostatní fáze zplyňování [22] [23].

Redukce – koks reaguje s vodní párou a oxidem uhličitým, tím vzniká vodík a oxid uhelnatý. Zároveň reaguje vodík s uhlíkem a vzniká methan [22].

Zplyňování se může dělit podle toho, jestli potřebné teplo se do soustavy přivádí z okolního prostředí nebo se potřebné teplo vyrábí přímo v reaktoru. Pokud je teplo přiváděno, jedná se o alotermní zplyňování, pokud teplo je teplo vyráběno oxidací, tak se jedná o autotermní zplyňování [21].

Alotermní zplyňování – výsledný plyn má lepší výhřevnost (až 14 MJ/m³) než u autotermního a má širší spektrum použití. Nicméně handicapem tohoto způsobu je zajištění přívodu tepla, což vede ke složitějšímu konstrukční řešení [21].

Autotermní zplyňování – přísun tepla pro zplyňování zajišťuje oxidace. Pro hoření je nutné do reaktoru přivádět kyslík. Výhřevnost plynu dosahuje hodnot 2,5-8,0 MJ/m³) [21].



Obr. 3.1 Autotermní zplyňování a alotermní zplyňování [21]

3.2 Biochemické přeměny (mokrý procesy)

Tato reakce funguje na principu rozkládání biomasy pomocí různých enzymů, bakterií a dalších mikroorganismů. Při tomto rozkládání se uvolňuje energie, oxid uhličitý, voda a další minerály. V přírodě je možno si tohoto rozkládacího procesu všimnout např. v hnojištích, jakékoliv neprovětrávané usazenině a skládkách. Rozkládací cyklus je doprovázen uvolňováním metanu. Výstupním produktem biochemické reakce je bioplyn nebo bioetanol [24].

3.2.1 Aerobní fermentace

Aerobní fermentace (=kompostování) probíhá za přítomnosti kyslíku. Tohoto procesu se účastní aktivní bakterie, které potřebují pro svoji existenci kyslík. Bakterie rozkládají organický materiál. Kompostování se provádí za účelem využít zbytkovou biomasu. Výsledným produktem je velmi kvalitní hnojivo, které podporuje funkce půdy a tvorbu humusu. Kompostování je říditelný proces. Dělí se na dva základní způsoby: rychlokompostování a pomalé zrání kompostu, které trvá 3-4 roky. Rychlokompost zraje řádově týdny a jsou na něj kladeny vyšší nároky. Optimální podmínky pro aktivitu aerobních mikroorganismů je dostatečný přísun kyslíku a zajištění odvodu oxidu uhličitého, který mikroorganismy produkují. Kompost by měl proto být kyprý, dobře promíchaný a nepřevlhčený. Vznikající teplota je známkou dobrých podmínek pro množení mikroorganismů. Rychlokompostování se dělí na tři fáze [25]:

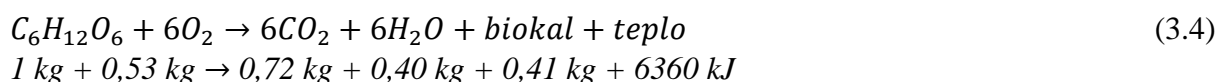
Fáze rozkladu neboli mineralizace – dochází k rozkladu jednoduše rozložitelných sloučenin jako jsou bílkoviny, cukry a škroby. Rozklad trvá 3-4 týdny při teplotě 50-70 °C. Výstupním produktem fáze rozkladu jsou dusičnany, čpavek, oxid uhličitý, polysacharidy a aminokyseliny. Teplota je velmi důležitá z hlediska hygienizace kompostu tzn. likvidace všech patogenních mikroorganismů, ale také likvidace semenek plevelů apod. [25] [26].

Fáze přeměny – fáze trvající 4-5 týdnů je charakteristická svou pozvolně se snižující teplotou, což poukazuje na snižující se aktivitu mikroorganismů. Dalším znakem této fáze je, že kompost dostává rovnoměrně hnědou barvu. Kompost v této fázi má nejlepší hnojařský účinek [25] [26].

Fáze zralosti – konečná fáze, kde se teplota snižuje až na hodnotu teploty okolí, signalizuje pokles veškeré činnosti mikroorganismů. Kompost ztrácí svůj hnojařský účinek, ale za to zvyšuje účinnost humusu. Je to kvůli tomu, že v hnojivu jsou živiny pevněji vázány. Hnojivo tedy déle působí na půdu. [25] [26].

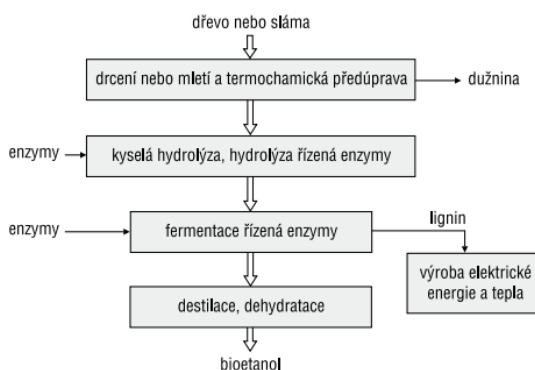
Při kompostování je důležité udržovat určité podmínky k množení mikroorganismů. Důležitým faktorem je poměr mezi uhlíkem a dusíkem. Uvádí se, že v ideálním případě by měl být poměr 30-35:1 (C:N) v čerstvém kompostu a 25-30:1 (C:N) při zralém kompostu. Hodnoty mimo tento interval mají za následek sníženou produkci humusu, popřípadě prodlužují celý proces zrání. Vlhkost je dalším významným parametrem, protože má vliv na vývoj mikroflóry. Nedostatek vlhkosti způsobuje tvorbu plísní a aktinomycet. Naopak při vysoké vlhkosti se rychle spotřebuje kyslík a tím by se vytvořilo anaerobní prostředí. Optimální vlhkost se pohybuje od 50-70 %. Tak jako u anaerobní fermentace, tak i u aerobní fermentace je důležitým parametrem hodnota pH. Hodnota pH se pro optimální množení mikroorganismů pohybuje v intervalu 6-8. Běžně se zvyšuje kyselost kompostů kvůli kumulaci organických kyselin. Kyselost kompostu se řeší přidáváním vápenatých látek. U kompostů skládajících se z travní biomasy se pH drží v rozmezí a nemusí se přidávat vápenaté látky [25] [27] [28].

Modelový příklad rozkladu glukózy [7]:



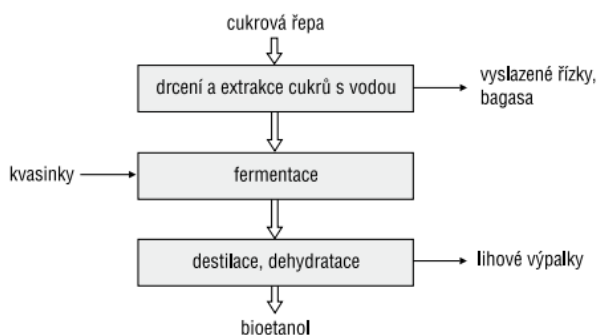
3.2.2 Alkoholová fermentace

Alkoholová fermentace je anaerobní proces, při kterém dochází k rozkládání glukózy v organickém materiálu. Jedná se o sérii chemických reakcí, kterých se účastní bakterie a kvasinky. Nejčastějším druhem kvasinek je *Saccharomyces cerevisiae*. Bez nějaké větší předúpravy se dají fermentovat monosacharidy, které jsou tedy přímo zkvasitelné. Komplikovanější sacharidy musí projít ještě hydrolýzou za pomoci enzymů. Bakterie a kvasinky se přidávají do biomasy, aby produkovaly etanol a oxid uhličitý, protože se živí cukrem. Následně se etanol destiluje k docílení vyšší koncentrace alkoholu kvůli dalšímu použití jako palivo do motorových vozidel. Na výrobu bioetanolu se dá použít každá surovina, která obsahuje jednoduché cukry nebo látky, které lze přeměnit na jednoduchý cukr. Těmi jsou suroviny obsahující škrob a lignocelulózu. Jak bylo psáno, materiál tvořený pouze cukrem nevyžaduje nijak zvláštní předúpravu, nicméně u materiálů, který obsahuje lignocelulózu a škrob, se vyžaduje nákladnější předúprava k následné fermentaci. Biomasa obsahující jednoduché cukry je například cukrová řepa a třtina. Škrobová biomasa jsou obiloviny, brambory a kukuřice. Lignocelulózová biomasa jsou různé odpady biologického původu, sláma, štěpka apod. Nejčastější surovinou na výrobu v USA je kukuřice, zatímco v ČR je to cukrová řepa. Fermentují se lesní, průmyslové a zemědělské zbytky a odpady [7] [29] [30] [31].



Obr. 3.2 Schéma výroby bioetanolu z lignocelulózové biomasy [29]

Chemická rovnice přeměny sacharózy v cukrové řepě za vzniku jednoduchých cukrů [7] [29]:

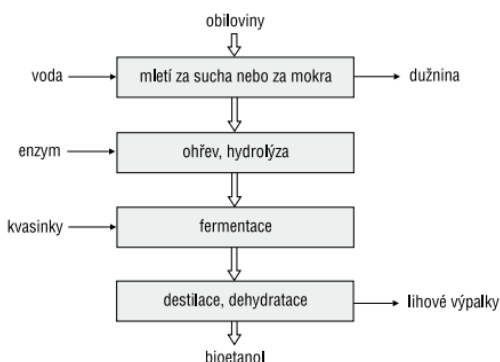


Obr. 3.3 Schéma výroby bioetanolu z biomasy obsahující jednoduché cukry [29]

Chemická rovnice pro škrobnaté suroviny (brambory, obiloviny apod.) za vzniku glukózy [29]:

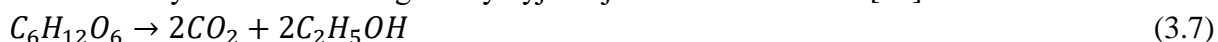


škrob → glukóza



Obr. 3.4 Schéma výroby bioetanolu z biomasy obsahující škrob [29]

Následnou výrobu alkoholu z glukózy vyjadřuje chemická rovnice [29]:



glukóza → *oxid uhličitý* + *etanol*

Důležitými faktory u kvašení je hodnota pH a teplota. Pro příslušný vývoj by se hodnota pH měla pohybovat mezi 4-6 a teplotou 27-32 °C [29].

3.2.3 Anaerobní fermentace (=výroba bioplynu)

Anaerobní (=bezkyslíkatá) fermentace je biologický rozklad organických látek při absenci vzduchu pomocí směsné kultury mikroorganismů. Možné názvy této reakce jsou: metanová fermentace, metanové kvašení, metanizace, anaerobní digesce, biogasifikace, biometanizace a biochemická konverze organických látek. Výsledným produktem je směs plynů. V tomto případě se označuje jako bioplyn. Vedlejším produktem je fermentovaný substrát, který se dále využívá na hnojení jako velmi kvalitní organické hnojivo. Směs plynů se skládá především z majoritních plynů a zanedbatelného množství minoritních plynů. Majoritní plyny jsou metan s oxidem uhličitým. Podle původu a místa vzniku se rozlišuje na: zemní plyn, důlní plyn, kalový plyn, skládkový plyn a bioplyn. Na výrobu bioplynu se využívá odpadů, nejčastěji ze zemědělství, lesnictví, komunálního odpadu a vesnické krajiny [7] [32].

Vznik bioplynu je složitý vícestupňový proces. Působením metanogenních, fermentačních, obligátních acetotrofních a hydrolyzačních mikroorganismů vzniká bioplyn. Bioplyn je v ideálním případě složen z metanu a oxidu uhličitého. Důležitými parametry pro výrobu bioplynu jsou: podíl vlhkosti, teplota prostředí, hodnota pH (kyselost materiálu), přítomnost toxických a inhibujících látek, anaerobní prostředí atd. Výroba bioplynu se dělí na čtyři základní procesy [7] [33]:

Hydrolyza – biomasa tvořená z proteinů, lipidů a polysacharidů je rozkládána na nízkomolekulární látky. Dochází tedy k rozkladu složitějších látek (polymerů) na jednodušší látky (monomery) pomocí hydrolyzačních mikroorganismů. Hydrolyza probíhá za přítomnosti vzdušného kyslíku, který se v následujících fázích už nevyskytuje. Ideální vlhkost je nad 50 % hmotnostního podílu [7] [33].

Acidogeneze – produkt, který vyšel z hydrolyzy často obsahuje ještě zbytky vzdušného kyslíku, se rozkládá na další jednodušší organické látky. Díky četným fakultativním anaerobním mikroorganismům dochází ke spotřebování veškerého vzdušného kyslíku a tím se vytvoří anaerobní prostředí. Tyto organizmy se dokáží aktivovat v aerobním, tak i v anaerobním prostředí. Produkt této fáze závisí na parciálním tlaku vodíku, při nízkém se tvoří kyselina octová, vodík a oxid uhličitý, při vysokém vznikají vyšší organické kyseliny [7] [33] [34].

Acetogeneze – je často označovaná jako mezifáze. Díky acidogenním specializovaným bakteriím dojde k transformaci vyšších organických kyselin, které se získaly z předešlé fáze, na kyselinu octovou CH_3COOH , vodík H_2 a oxid uhličitý CO_2 [7] [34].

Metanogeneze – poslední fáze celé anaerobní fermentace. Dochází zde k rozkladu kyseliny octové na metan a oxid uhličitý pomocí metanogenních acetotrofních bakterií. Hydrogenotrofní bakterie produkují metan z vodíku a oxidu uhličitého [7] [34].

Pro nenarušení a udržení ideálních životních podmínek pro množení mikroorganismů jsou důležité tyto faktory: teplota, složení, kyselost prostředí – pH, malý obsah anorganického materiálu, organický materiál s vysokým podílem biologicky rozložitelných látek [7] [33].

Teplota ovlivňuje především rychlost probíhající reakce, ale dlouhodobou změnou teploty se může změnit i druh mikroorganismů. Reakce v reaktoru probíhají v rozmezí 35 až 60 °C, tudíž se reaktor vyhřívá [7] [33] [34].

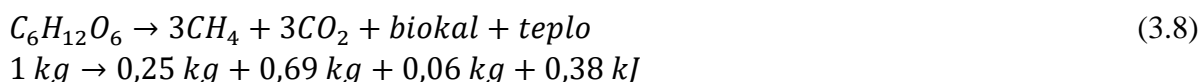
Dalším důležitým faktorem je kyselost, respektive zásaditost. Jelikož jsou mikroorganismy velmi náchylné, tak optimální hodnota pH se pohybuje v rozmezí 6,5-7,5, tedy neutrální [7] [33] [34].

Vhodnost materiálu záleží i na jeho složení. Především se sleduje poměr uhlíkatých látek k dusíkatým látkám. V praxi se tento poměr upravuje mícháním podle potřeby. Průběh anaerobní fermentace se může také narušit nežádoucími příměsi, které potlačují mikrobiální tvorbu, jako jsou antibiotika, která byla podávána zvířatům [7].

Suchá fermentace – její vstupní materiál se vyznačuje vlhkostí, která nepřesáhne více než 75 % a obsahem sušiny. Obsah sušiny se pohybuje nejčastěji v rozmezí 25 až 60 %. Je to poměrně nová technologie a zájem, který budí, je především kvůli nízké energetické náročnosti provozu a menší citlivosti vstupního materiálu. Materiál se ukládá do fermentorů, které jsou zahřáty na cca 40 °C, což je nejběžnější provozní teplota. V krátkém čase dojde k vyčerpání kyslíku a dochází k výrobě bioplynu ve fermentorech, kde materiál zůstává okolo 4-5 týdnů. Po uplynutí této doby se snižuje výroba bioplynu. Zbytkový materiál se dále kompostuje nebo se dá použít jako velmi kvalitní organické hnojivo [35] [36] [37].

Mokrý fermentace – je vývojově starší, technicky propracovanější, častější a má širší uplatnění než suchá fermentace. Může zde dojít k častějším poruchám kvůli počtu technického vybavení a má větší provozní náklady. Obsah sušiny by neměl být vyšší než 12 %. Než se materiál nasaje čerpadly, tak musí nejdříve projít úpravami. Jedná se o drcení, separaci anorganických částic, plastů a odstranění dalších nežádoucích nečistot. Důvodem je, že může dojít k nějaké mechanické poruše, jako je například ucpání a zvýšené opotřebení čerpací techniky. Vstupní materiál se tedy čerpá, protože je ve formě kapaliny. Fermentory se kontinuálně plní a je v nich udržována konstantní teplota okolo 35 °C při mezofilních procesech, při termofilních se teplota pohybuje okolo 55 °C [32] [36] [37].

Modelový příklad rozkladu glukózy [7]:



3.3 Fyzikálně-chemické zpracování

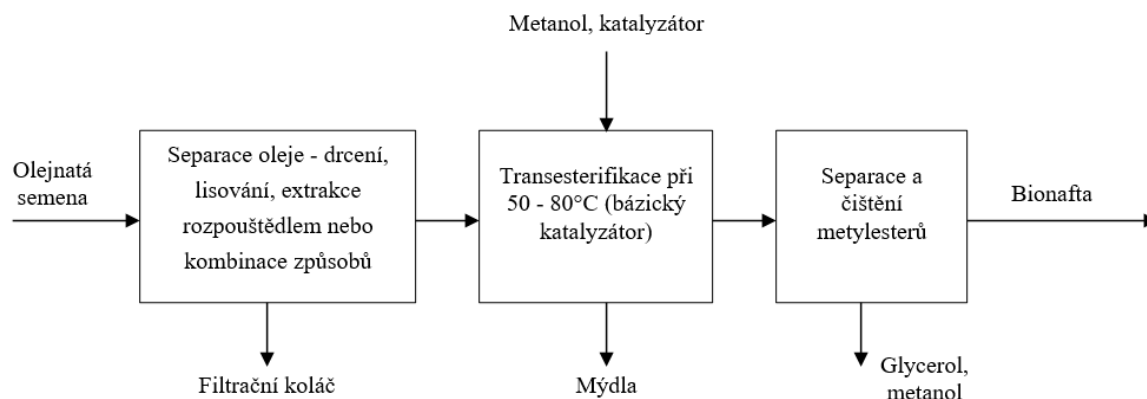
Metoda fyzikálně-chemického zpracování zahrnuje procesy, které vedou k výrobě kapalných biopaliv. Nejdříve se provádí fyzikální zpracování jako je drcení a lisování a následně se realizuje chemické zpracování. Nejvhodnější surovinou jsou olejniný, ze kterých se vyrobí látka podobná motorové naftě [7] [38].

3.3.1 Esterifikace surových olejů

Bionafta je palivo, které nezatěžuje životní prostředí, a svými vlastnostmi (hustota, viskozita, výhřevnost) se blíží motorové naftě. Nicméně vlastnosti bionafty jsou o trochu horší. Její spotřeba roste, přibližně o 15 % více než u motorové nafty [39]. Jelikož proces výroby bionafty je podstatně dražší než výroba paliva z ropy, tak se bionafta pouze mísí s motorovou naftou. Výhodou bionafty je, že se dá mísit v jakémkoliv poměru s naftou. Výsledkem je pak palivo, které méně zatěžuje životní prostředí, ale vlastnostmi se podobá klasické naftě [40]. Hlavní nevýhodou bionafty je vysoká energetická náročnost při výrobě, tvorba skleníkových plynů při výrobě a skladovací doba, protože bionafta se po třech týdnech odbourá z 90 %, zatímco klasická nafta asi z 10 %. Nicméně její odbouratelnost se dá považovat i za výhodu. Výhodou bionafty je, že lépe maže, tím snižuje tření a opotřebení motoru. Výroba bionafty může probíhat v rámci jednoho státu, jelikož rostliny si může vypěstovat a není strategicky závislý, jako je to u ropy [39].

Výstupním produktem transesterifikace je bionafta (=metylester). Technologie transesterifikace je už na poměrně vysoké úrovni, a tedy žádné převratné změny v této technologii se neočekávají. Tato technologie je bezodpadová, protože všechny její vedlejší produkty se dále využijí. Vstupní surovinou je olejnatá rostlina, nejčastěji sója, řepka olejná a slunečnice. Přitom z těchto tří druhů rostlin se nejvíce používá řepka olejná. Ve Spojených státech amerických se nejvíce používá sója. Postup získání rostlinného oleje je následovný. Nejdříve olejnatá semena projdou procesem drcení, lisování, extrakcí rozpouštědlem nebo kombinací způsobů. Aplikované rozpouštědlo se vyseparuje pomocí destilace. Filtrační koláč je odpadní materiál (šrot), který se dále používá do krmných směsí a přírodních hnojiv. Rozpuštěný katalyzátor v metanolu a rostlinný olej se dává do uzavřeného reaktoru na transesterifikaci. Katalyzátorem je nejčastěji hydroxid draselný nebo sodný. Pro získání bionafty se ještě musí provést čištění a separace metylesterů. Čištění se provádí promytím teplou vodou a separací zbytků katalyzátoru, mýdel a nakonec vody. Vedlejším produktem je glycerol s metanolem [41] [42] [43].

Při transesterifikaci je důležité sledovat: molární poměr methanol/olej, typ a množství katalyzátoru, teplotu a čas reakce, intenzitu míchání a složení vstupního rostlinného oleje (množství volných mastných kyselin a vody) [42].



Obr. 3.5 Blokové schéma výroby bionafty [41]

3.4 Mechanické zpracování

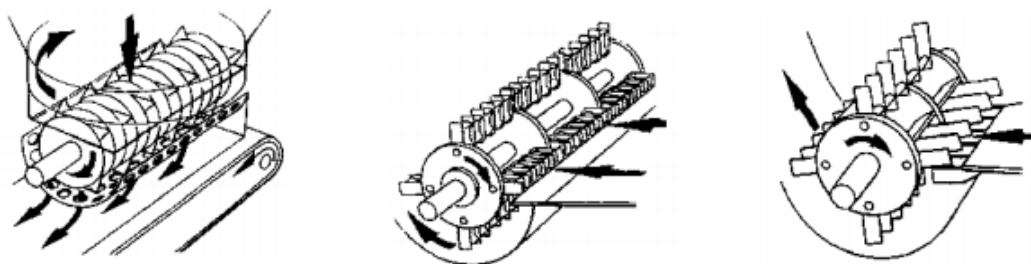
Mechanická úprava biomasy se většinou provádí za účelem zmenšení rozměrů kvůli snazšímu zacházení a lepší spalitelnosti. Úpravy se mohou provádět pomocí stříhacích zařízení, sekaček, drtičů, lisování, briketování, peletování apod. Nejprve se biomasa vysuší ke snížení vlhkosti. Výstupním produktem jsou pak pelety nebo jiná tuhá biopaliva, která mají dále uplatnění ve spalovacích zařízeních [44].

3.4.1 Stříhací zařízení

Stříhací zařízení se používají na zkracování délky dřevní hmoty. Pokud se jedná o tenčinu nebo dřevní odpad z dřevařského průmyslu, tak se používá jednonožové stříhací zařízení, které funguje na principu gilotiny. Po každých 25 až 30 cm se dřevo odděluje díky velkému tlaku navzájem protilehlých nožů. Svazovací zařízení většinou bývá součástí stříhacích zařízení. Velké stříhací zařízení používají větší počet stříhacích nožů vedle sebe [7].

3.4.2 Drtiče

Drtiče mají zastoupení při sklizních v lesích, kdy se nepotřebuje přesný rozměr výstupního materiálu, ale jedná se pouze o redukcí rozměrů, kvůli lepší přepravě a dalšímu zpracování. Drtiče se také používají pro materiál, se kterým si nedokáží poradit sekačky (=štěpkovače), jako jsou netvárné porosty, pařezy, stavební odpad apod. Drtiče se dělí podle otáček na nízkootáčkové a vysokootáčkové. Dělení může být také podle drtícího ústrojí, které je



Obr. 3.6 Nejčastěji používané systémy drcení [45]

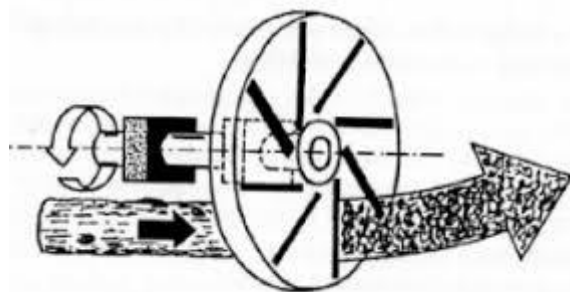
kladivové, válcové, šnekové, nožové a segmentové. Drtiče jsou v porovnání se sekačkami energeticky náročnější a mají menší pravděpodobnost mechanického poškození [7] [45].

3.4.3 Sekačky (=štěpkovače)

Sekačky jsou zařízení, pomocí kterých se dá vyrábět dřevní štěrka ostrými noži. Jelikož v sekacím ústrojí jsou ostré nože, tak jsou i náchylnější na otupení, tzn. že sekačky se snadněji opotřebí, pokud se do nich dostane silně znečištěný materiál. Tudíž v některých případech je sekačka nahrazována drtičem. Tupost nožů má negativní vliv na výkon a kvalitu štěrky, a proto se musí často měnit. Sekačky se dělí do několika skupin. Z hlediska pohyblivosti se sekačky dělí na pohyblivé a stacionární. V podstatě u stacionární sekačky je sekací agregát natrvalo připojen k lince, která je pevně připevněna k základům. Přísun a odvod materiálu je zajištěn pomocí podávacích zařízení. U mobilních sekaček je řezací agregát namontován k podvozku a nejpoužívanější druh připojení je přívěs. Důležité pro chod je zajistit požadovaný výkon, nejčastěji traktorem, vlastním spalovacím motorem nebo elektromotorem [7] [45] [46].

Další rozdělení je podle typu sekacího orgánu. Sekačky se dělí na diskové, bubnové, šroubové a kolové [7] [45] [46].

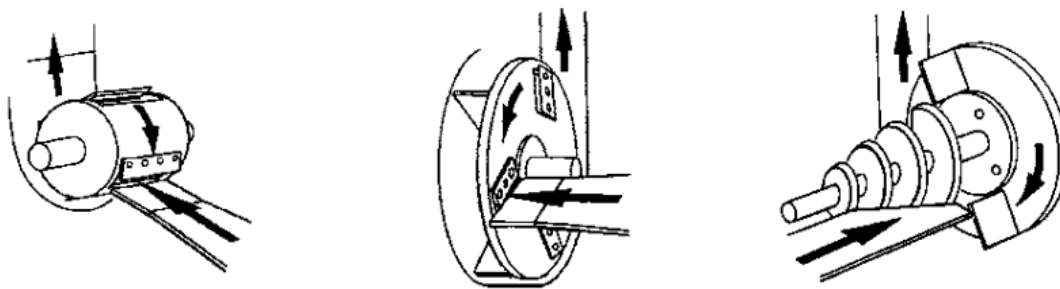
Diskové sekačky jsou nejrozšířenějším typem na výroby štěrky. Přísun materiálu je zajištěn ručně nebo hydraulickou rukou. Sekací ústrojí je tvořené diskem o průměru od 1000 do 2000 mm a vybaven 2 až 16 noži. Velikost vstupního materiálu do sekačky je omezena od poloměru disku. Charakteristickým znakem pro diskové sekačky je absence ventilátorů, protože disk zajišťuje dopravu štěrky, ventilační a vrhací účinek [7] [45] [46] [47].



Obr. 3.7 Schéma sekacího ústrojí diskové sekačky [7]

Bubnové sekačky jsou navrženy pro menší výchozí materiál a menší výkony. U diskových sekaček jsou nože umístěny kolmo k ose rotace, zatímco u bubnových jsou nože umístěny na obvodu válce. Bubnové sekačky se vyznačují rozdílnou velikostí štěrky analogie k válcovému frézování, kdy velikost štěrky se mění od maximální po minimální tloušťku. Ventilační a vrhací účinek je tu velice malý, a proto tyto sekačky vyžadují montáž ventilátoru [7] [45] [46] [47].

Šroubové sekačky slouží především na sekání malých a tenkých stromků a kmínků. O produkci štěrky se stará šroubovice, která je na hranách vybavena ostrím. Vtahování materiálu je zajištěno tvarem šroubovice se stoupajícím průměrem. Na výstupu je štěrka jejíž tloušťka se pohybuje okolo 1 cm [7] [38] [46].



Obr. 3.8 Nejčastěji používané systémy štěpkování (zleva: bubnové, diskové, šnekové) [45]

Zelená dřevní štěpka je prakticky čerstvě řezané dřevo, které obsahuje zelené třísky s vlhkostí až 50 %. Nejčastěji se udává vlhkost mezi 35 % až 50 %. Proto se spalují ve speciálně navržených spalovacích systémech na mokré třísky. Kvůli vysoké vlhkosti je i výsledné teplo nižší kvůli potřebnému vysušení. V tomto typu štěpky se vyskytuje i kůra, která se neliší výhřevností od dřeva, ale tvorbou popela ji značně převyšuje. Zelená dřevní štěpka je levná k nákupu, ale investice na vybudování celé infrastruktury na její spálení je značně nákladná. Typické skladování zelené dřevní štěpky je v zakrytých betonových bunkrech. Z pohledu manipulace jsou tyto štěpky těžší než PDCs a pro manipulaci se používá silnějších manipulačních systémů [48].

Suchá dřevní štěpka (PDCs = Precision Dry Wood Chips) je dalším možným palivem z biomasy. Může se spalovat stejně jako dřevěné pelety. Obsah vlhkosti u PDCs se pohybuje pod 30 %. Jelikož se dřevní štěpkou manipuluje hůře, než je tomu u dřevěných pelet, tak pro přesun ze sil do kotlů se používá šroubového dopravníku. Vzhledem ke své ceně je PDCs poměrně oblíbené, neboť je až o 35 % levnější než dřevěné pelety. Nejčastěji si PDCs kupují malí až střední odběratelé. Z hlediska skladování se PDCs skladuje v ocelových silech [48].

3.4.4 Peletování a briketování

Dřevěná peleta je mechanicky zpracovaná biomasa do určité formy. Prakticky se jedná o velmi suché palivo. Vlhkost dřevěných pelet by se měla pohybovat okolo 10 %. Pelety jsou malé, takže se s nimi snadno manipuluje. Cena dřevěných pelet je nejvyšší, ale je nejlepší volbou pro lehké obchodní a obytné systémy [48].

Pro výrobu dřevěných pelet se musí zajistit stálý přísun materiálu. Druh výchozího materiálu závisí na tom, jestli se dřevní pelety dodávají pro osobní odběr nebo komerční účely. Pokud se dřevěné pelety vyrábí pro osobní odběr, tak se za výchozí surovinu berou různé odpady z plodin. Pro komerční účely se používají dřevěné hobliny. Problém nastává v případě zajištění přísunu materiálu. Většinou se to řeší dlouhodobou smlouvou s některou pilou o odběru dřevěných hoblin. Velké kusy materiálu, jako jsou větve nebo kulatiny, se musí ještě zmenšit na menší rozměry nejčastěji štěpkovačem. Dalším krokem je sušení na požadovanou vlhkost. Nejčastěji se na sušení používá rotační bubnová sušička. Oddělování nečistot od vysušené dřevní suroviny je dalším neopominutelným procesem. Nečistoty jako kámen a kovové části se oddělují pomocí magnetického separátoru a přístrojem na oddělování kamenů [49].

Nyní je dřevní surovina upravena na požadovaný rozměr a vlhkost. Následné peletování a briketování se provádí vysokotlakým lisováním (až 31,5 MPa). Dochází tím ke změně objemu v poměru až 12:1, kvůli ligninu, který se plastifikuje a funguje jako pojivo, které si zachovává svůj tvar. Lignin má další skvělou vlastnost. Nevstřebává vodu, takže stačí pelety uchovávat na nějakém sušším místě. Následně se slisovaný materiál chladí, aby získal správnou teplotu a tuhost [7] [49] [50].

Lisy se dělí na pístové hydraulické a mechanické, šnekové a protlačovací (granulační) [7].

Pístové hydraulické a mechanické lisy jsou jednorázové lisy s výstupním průměrem briket 50 až 60 mm. Nejčastěji jsou kombinovány s drtičem, do kterého se dává sláma, piliny, papír, pazdří apod. Obvyklá výkonnost se pohybuje okolo 250 do 500 kg/h [7] [38].

Šnekové lisy s výkonností pohybující se okolo 500 kg/h stlačují materiál pomocí šneku. Doporučuje se lisovat piliny a sypký materiál. Lis není vhodný na lisování stébelnin. Stlačený materiál má vysoký stupeň stlačení s dlouhodobou trvanlivostí. Šnekový lis se kombinuje s přehřívací komorou, díky čemuž se uvolní z materiálu pojivo a nemusí se používat dalších lepidel [7] [38] [51].

Protlačovací (granulační) lisy vyrábějící pelety mají původ v granulačních lisech, ve kterých se vyráběly granule jako krmivo pro zvířata. Výkonnost protlačovacích lisů může být i vyšší než 1000 kg/h. Kvůli poptávce se zvýšil i počet těchto lisů, které se dělí na dva hlavní typy: lis s kruhovou vertikální maticí a lis s kruhovou horizontální deskovou maticí [7] [38].

4 POPIS TECHNOLOGICKÉHO ŘETĚZCE

Tato kapitola se zabývá spalovacím a bioplynovým řetězcem. Podle vhodně zvoleného místa se odvíjí samotná velikost a infrastruktura řetězce.

4.1 Spalovací řetězec

Ke spalování biomasy (dřevní) se nejdříve musí vytěžit dřevo. Vytěžené dřevo se upraví buď na místě nebo se převeze do závodu, kde se upraví. Dezintegrace materiálu se provádí kvůli snazší dopravě a procesu spalování. Mezi dva hlavní typy spalování patří spalování na roštu a spalování ve fluidní vrstvě. Spalovacím zařízením jsou kamna, krby a kotle, které se rozlišují podle výkonů nebo typu biomasy.

4.1.1 Těžba

Těžba úzce souvisí s dopravou, a tedy i se vzdáleností. Z hlediska ekonomie se elektrárny na biomasu budují v snadné dopravy, možného pěstování a jiných potenciálních zdrojů. Za potenciální zdroj se dá považovat zemědělský odpad, pila, dřevozpracující podniky apod. [52].

4.1.2 Úprava

Úpravami biomasy pro spalovací řetězec se zabývala kapitola 3.4. Prakticky se může jednat o kombinaci těchto mechanických zpracování. Hlavní snahou je, co nejvíce zmenšit palivo kvůli rychlejšímu vysoušení a rychlejšímu hoření. Pro srovnání uhlí s biomasou. Uhlí se dá rozemlít na malé částice řádově o velikosti 100 μm . U biomasy se tohoto stavu nedá tak snadno dosáhnout. Biomasa se dá spalovat jako čistá biomasa, tedy bez přísad, ale pak je výrazně nižší výkon. Proto se biomasa často míchá s nepříliš kvalitním fosilním palivem – lignitem (hnědé uhlí) [53].

4.1.3 Transport

Pro zvýšení účinnosti celé soustavy je důležitá vzdálenost a samotný způsob dopravy. Před přepravou biomasy je vhodné ji upravit pro zvýšení objemové hustoty. Z obrázku je totiž patrné, že objem větví a různých nařezaných částí je podstatně větší, než je tomu u dřeva, které má stejnou hmotnost. Štěpkování a celková koncentrace materiálu je značně energeticky náročná. Proto se tento proces nahrazuje paketrováním. Roští se lisuje obdobně jako sláma, ale pod větším tlakem [7].



Obr. 4.1 Biomasa o stejné váze zaujímající rozdílný objem [54]

Je několik způsobů dopravy biomasy. Mezi nejčastější patří přeprava nákladním automobilem. Mezi méně časté patří například vlak, nákladní loď nebo doprava potrubím. Hlavním faktorem pro dopravu je ekonomika. Nejlevnějším dopravním prostředkem je kamion. Za zmínku stojí potrubní doprava, která se může stát nejlevnějším a nejbezpečnějším způsobem dopravy pro biomasu. Důležité je zmínit, že těžba, úprava i transport jsou závislé na ropných produktech. Jak už bylo zmíněno, spalování biomasy se vyznačuje svou nulovou bilancí CO_2 [52] [54].

4.1.4 Typy spalování

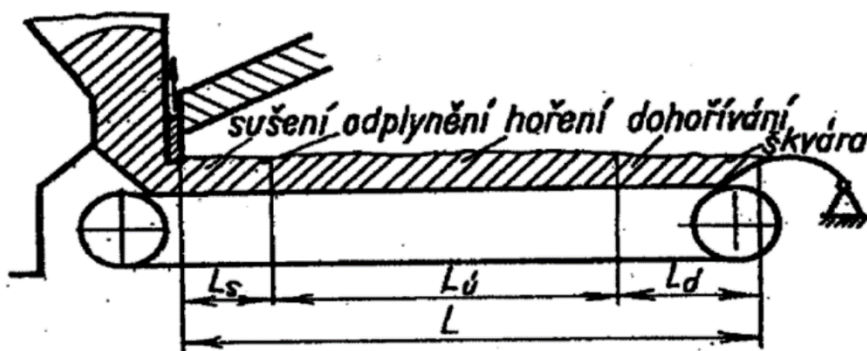
Spalování na roštu je určeno ke spalování kusových paliv v pevné vrstvě. Palivo leží na roštu ve vrstvě. Tloušťka vrstvy se odvíjí od tepelného výkonu ohniště a objemu průchozího vzduchu pro spalování [13] [55] [56].

Rošt má plnit několik základních funkcí [13] [55] [56]:

- podpírání kusového paliva
- zajistit požadovaný přívod vzduchu (primární přívod) pro optimální spalování
- zaručit optimální časové rozmezí pro vysušení, zahřátí, hoření a dohoření
- zajistit odvod škváry z ohniště
- měnit svůj výkon

Spalování na roštu se dělí na několik fází [13]:

- sušení – ohřev paliva na $120\text{ }^{\circ}\text{C}$, vypuzování povrchové a hygroskopické vody
- odplyňování – dochází k uvolňování prchavé hořlaviny při ohřátí nad $250\text{ }^{\circ}\text{C}$
- hoření – zápal tuhé vrstvy a hoření prchavé hořlaviny
- dohořívání – chladnutí tuhé fáze a tuhých zbytků



Obr. 4.2 Délka (plocha) roštu [56]:
 L_s – sušící, L_u – účinná (vlastní hoření)
 L_d – dohořívací, L – celková

K uvolňování energie dochází pouze na úseku L_u . Na účinné ploše dochází ke dvěma způsobům uvolňování energie, a to ve vrstvě na roštu a v prostoru nad vrstvou paliva, kde dochází k hoření prchavé látky. Ohniště se často seškrcují kvůli vysokému obsahu prchavých látek, který je typický pro biomasu. Seškrcení se dělá kvůli promísení prchavých látek se vzduchem, který přivádíme nad rošt. Čím více prchavých látek se v palivu nachází, tím vyšší objem vzduchu se musí přivést. Maximální teploty u tohoto typu spalování se pohybují mezi $1000\text{--}1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ [13] [55] [56].

Podle způsobu přemísťování paliva v ohništi dělíme rošty na [13]:

- Rošty s nehybnou vrstvou paliva (pevné rošty)
- Rošty s občasným přemísťováním paliva (rošty stupňové a přesuvné)
- Rošty s trvalým přemísťováním paliva (rošty pásové a řetězové)

Spalování ve fluidní vrstvě je typ spalování, kdy se palivo spaluje ve fluidní vrstvě, tzv. ve vznosu. Ve vhodném spalovacím prostoru se pomocí proudu vzduchu udržuje soubor pevných látek ve vznosu a vzniká disperzní systém. Materiál načeřený vzduchem je tedy uveden do tekutého stavu. Od toho se odvíjí i vlastnosti, jako je přenos tepla, který probíhá mezi kapalinou a výhřevnou plochou. U ostatních typů spalování vždy probíhá přenos tepla mezi plynem a výhřevnou plochou. Z toho plyne velká výhoda, že spalováním ve fluidní vrstvě se dosahuje mnohonásobně většího součinitele přestupu tepla (200 až $800 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ u fluidní vrstvy a u ostatních typů okolo 10 až $100 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$). Nevýhodou tohoto druhu spalování jsou vysoké nároky na velikost a strukturu paliva. Fluidní kotle na biomasu se používají pro systémy s výkonem řádově desítky až stovky MW [13] [56] [57] [58].

Podle způsobu spalování paliv jsou fluidní ohniště [13] [56]:

- Fluidní kotle se stacionární fluidní vrstvou
- Fluidní kotle s cirkulující fluidní vrstvou

4.1.5 Spalovací zařízení

Krby a krbová kamna v dnešní době fungují už spíše jako sekundární zdroj tepla v domácnosti. Dříve se používaly otevřené krby, které byly velmi neefektivní. Jejich účinnost dosahovala 20-30 %, takže 70-80 % energie unikalo bez užitku do komína. K lepším účinnostem se dostaly uzavřené krby a krbová kamna, která se realizují nejčastěji skleněnými nebo kovovými dvířky. Nevýhodou je poměrně časté přikládání a vynášení popela, tím se snižuje pohodlnost uživatele. K technickým nevýhodám patří vysoká spotřeba vzduchu a následné unikání většího množství nevyužitého vzduchu komínem [1].

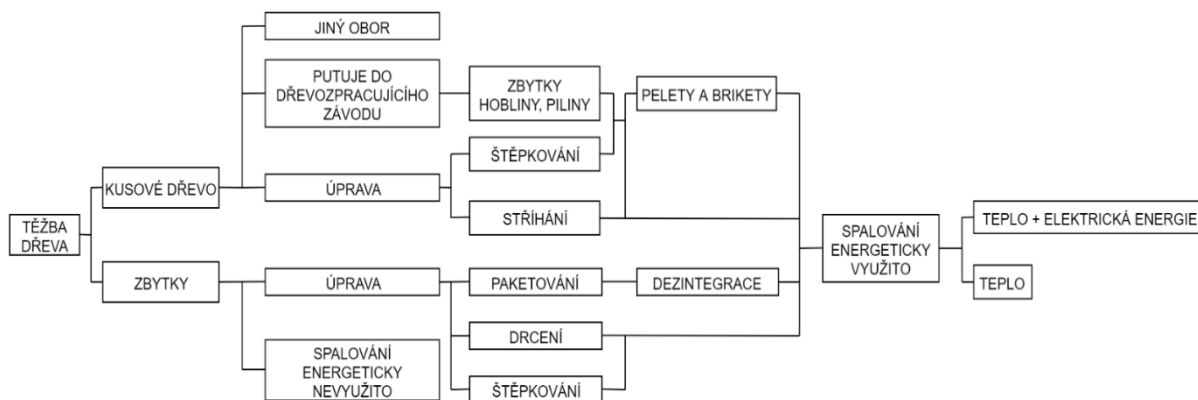
Mezi světovou špičku patří kanadské krby. Kanadské krby s krbovými vložkami dosahují účinnosti okolo 80 %. Tyto krby jsou schopny vytápět celou domácnost díky teplovzdušným rozvodům. Oheň oddělují od člověka dvě stěny. Mezi stěnami je vzduch, který se ohřeje a následně je rozváděn pomocí vzduchovodů a ventilátorů po celém domě. Kanadské krby a kamna dokáží hořet 8-24 hodin na jedno přiložení a při neustálém topení se popel vynáší přibližně 2x za měsíc. Výkon u kanadských krbových kamen se pohybuje od 6-22 kW. Použití mají pro běžné rodinné domy, ale pro nízkoenergetické domy je tento zdroj příliš výkonný [59] [60].

Kotle na štípané dřevo se nejčastěji umísťují do sklepa. Kotle mají zásobník dřeva, který se plní ručně, řádově vystačí na několik hodin. V kotli se nachází trubky s vodou. Voda se v nich ohřívá pomocí spalín a následně je rozvedena do radiátorů a vodovodních kohoutků. Dále se v kotli nachází výsypka, do které padá popel. Odlišnost oproti krbům je ve způsobu vyhořívání. U krbů je horní, zatímco u kotle se používá spodního a bočního vyhořívání. Docílí se toho směrem vzduchu. Pokud se požaduje spodní vyhořívání, tak vzduch je přiváděn vrchem. Nejvyšší účinnosti dosahují okolo 94 %. Výkonnosti kotlů se pohybují od desítek až po stovky kW [1] [61].

Kotle na dřevěné pelety jsou nejpohodlnější variantou. Za zmínku stojí zásobník na pelety, který může být součástí kotle, nebo se nachází mimo něj. Velký zásobník pojme větší objem paliva, tudíž se více zaplatí za jeho celé naplnění. Vydrží déle a ušetří se na dopravě. Pelety jsou dopravovány ze zásobníku do kotle pomocí šnekového dopravníku nebo vzduchového sacího zařízení. Následně se pelety dopraví do spalovacího prostoru, kde jsou zažehnuty elektricky poháněným dmychadlem horkého vzduchu. Funkce kotle jsou řízeny řídicí jednotkou, takže pokud se potřebuje vyšší výkon, tak podavač přidává větší množství pelet. Vzniklý popel je odváděn šnekovým dopravníkem do popelového kontejneru. Objem popela se odvíjí od kvality paliva. U těchto kotlů se vyžaduje jen minimální obsluha [1] [62].

Kotle velkých výkonů 5 MW a více se využívají při centralizovaném zásobování teplem. Jedná se o systém se zdrojem (kotel) a tepelnými rozvody, kterými se dodává teplo ke spotřebitelům. Kotle takových výkonů jsou součástí elektráren, tepláren nebo výtopen. Kotle vysokých výkonů mají často vyšší účinnost než domácí kotle. Nicméně vzhledem k délce tepelných rozvodů jsou značné tepelné ztráty. Podstatným faktem jsou emise. U tepláren a elektráren jsou vyšší nároky na filtrační techniku, než je tomu u domácích kotlů. Tepelné rozvody se obvykle dělí na primární a sekundární síť. V primární síti je voda nebo pára s vysokými tlaky a teplotami. Dodávky tepla řeší sekundární síť [1] [7].

Na obrázku 4.3 je blokově znázorněn spalovací řetězec, konkrétně pro dřevní biomasu. Pokácený strom se očistí od větví. Zdravá kulatina putuje především do dřevozpracujícího průmyslu nebo jiných oborů. Ostatní kulatina jde především na dezintegraci. Zbytky z těžby jdou buď na dezintegraci nebo se spálí na místě. Dezintegrovaný materiál se dováží do elektráren, tepláren nebo výtopen.



Obr. 4.3 Schéma spalovacího řetězce

4.2 Bioplynový řetězec

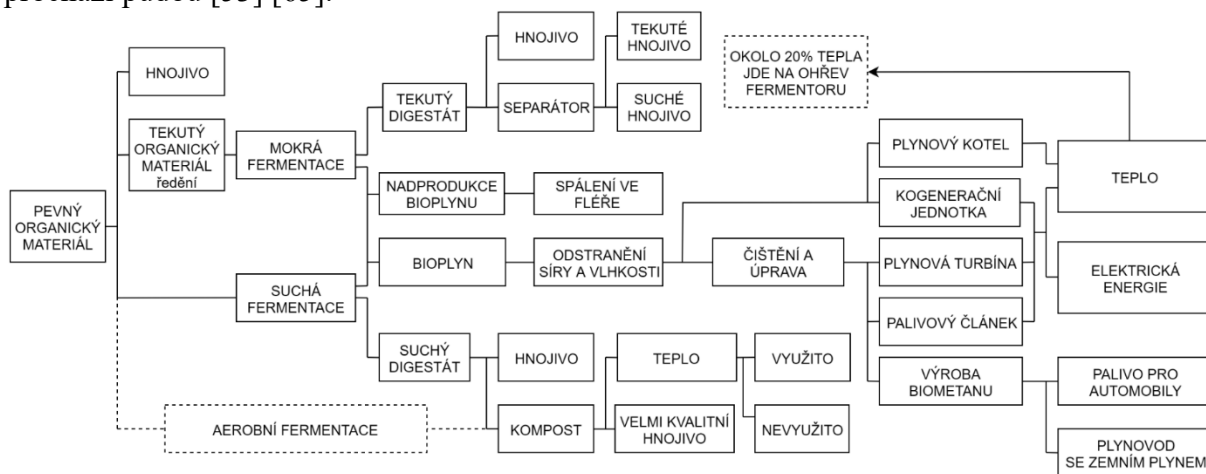
Bioplynový řetězec se často skládá ze dvou částí: bioplynové stanice a spalovacího zařízení. Do bioplynové stanice vstupuje biologicky rozložitelný materiál a produktem je bioplyn s digestátem. Na konci řetězce se nachází spalovací zařízení, nejčastěji kogenerační jednotka.

4.2.1 Těžba, principy a úpravy

Výstavba bioplynové stanice se opět staví v blízkosti zdrojů. Od velikosti zdrojů se pak odvíjí i velikost samotné bioplynové stanice. Důležité je určení typu odpadu, který se bude zpracovávat. Vstupní surovinou bývají biologicky rozložitelné odpady, čistírenské kaly, kejda hospodářských zvířat, živočišné tuky, vedlejší živočišné produkty, hybridy kukuřice, čiroku a další. Využívání zemědělských odpadů na výrobu energie se střetává s problematikou vrácení živin zpět do půdy, jelikož při anaerobní fermentaci se metanogenní bakterie živí právě organickými látkami, které jsou podstatnou složkou pro hnojení [53] [57] [63].

Do fermentoru (vzduchotěsná nádoba – někdy označován jako reaktor) vstupuje materiál, který je organického původu. Ve fermentoru je materiál s obsahem sušiny kolem 15 %, který se dá dobře míchat a čerpat. Pokud je obsah sušiny vyšší, musí se zředit a dostatečně rozmělnit například prasečí kejdou. Ve fermentoru, který je zahřátý přibližně na teplotu 38-40 °C, dochází k anaerobní fermentaci (viz. kap. 3.2.3). Dávkování do fermentoru často probíhá kontinuálně, tudíž i výroba bioplynu je kontinuální. Mikroorganismy rozkládají materiál za nepřítomnosti světla a vzduchu. Produktem je bioplyn s hlavní složkou metanem, ale i značnou částí agresivního sulfanu (=sirovodíku). Proto se fermentory vyrábějí z nerezové oceli, která je schopna odolávat sulfanu. Bioplyn dále putuje do plynoměru, kde se upravuje a čistí. Hlavní úpravou je zbavení se H_2S (=odsíření), CO_2 a vodní páry. Touto úpravou se získá biometan, který má vlastnosti velmi podobné zemnímu plynu. Biometan se dá použít všude, kde se používá zemní plyn. Může se také rovnou vstříkovat do plynovodu se zemním plynem. Bioplyn se nejčastěji používá ke spalování v kogenerační jednotce [53] [63] [64].

S nepřetržitou výrobou bioplynu souvisí i nepřetržitý odběr. Bioplynové stanice se vyznačují svou nesnadnou regulací výkonu. Jakmile se zastaví odběr, tak přebytečný bioplyn se musí spalovat pomocí fléry. Plynoměry jsou totiž schopné pojmout řádově několik hodin produkci plynu. Teplo z bioplynu spáleného ve fléře je vypuštěno do atmosféry bez užitku [53]. Vedlejším produktem bioplynového řetězce je tekutý organický zbytek, tzv. digestát. Obsahuje minerální látky a dusík. Digestát se v separátoru dá rozdělit na pevnou a tekutou část. Obě části mají využití v oblastní hnojení. Tekutější hnojivo má nízkou viskozitu, takže pak snadněji prochází půdou [53] [65].



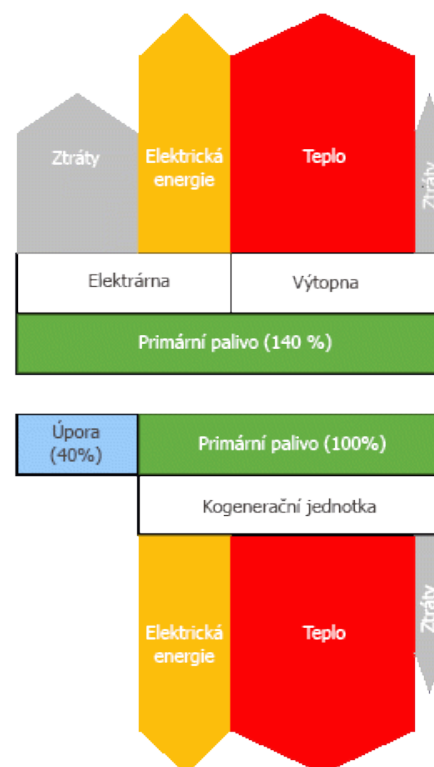
Obr. 4.4 Schéma bioplynového řetězce

4.2.2 Využití bioplynu a spalovací zařízení

Samotný bioplyn má široké spektrum použití. Pokud se upraví na biometan, tak má ještě širší možnosti použití. Dále bude rozebrán pouze nejčastější typ kogeneračních jednotek [57].

Kogenerační jednotka (KJ) je zařízení na výrobu tepla a elektrické energie. Nejčastější typ KJ tvoří generátor se čtyřdobým plynovým spalovacím motorem (zážehový motor – Ottův cyklus a vznětový motor – Dieselův cyklus), které byly vyvinuty pro spalování bioplynu. Dalším případem jsou plynové nebo parní turbíny. Kvůli souladu s elektrickou přenosovou sítí pracují generátory na konstantních otáčkách 1500 za minutu. Rozšířením KJ o chladicí jednotku absorpčního typu je možné vyrábět chlad. V takovém případě se jedná o trigeneraci, výrobu elektrické energie, tepla a chladu. KJ se vyznačují svou vysokou účinností využití energie v palivu, která může přesáhnout i 90 %, což má za následek nižší spotřebu paliva a méně emisí. Uvádí se, že okolo 1/3 vyprodukovaného tepla se přivádí zpět do bioplynových stanic, kde se teplo využije na ohřev fermentoru, čerpání a další procesy. Zbylé 2/3 se využijí na externí potřeby, jako ohřívání vody a vytápění. Kvůli využití vyrobeného tepla dosahují KJ tak vysokých účinností oproti elektrárnám, kde teplo uniká bez užítu do ovzduší [57] [66].

Umístění KJ je důležité kvůli vyprodukovanému teplu. Čím delší je vzdálenost od spotřebitele, tím větší jsou ztráty vlivem prostupu tepla mezi stěnami potrubí. To platí i pro vzdálenost mezi KJ a fermentorem. Z tohoto důvodu se KJ staví blízko bioplynové stanice, které velmi často bývá součástí. Důležitá je i optimální vzdálenost od menších měst, průmyslových oblastí, obchodních center, hotelů a dalších spotřebitelů, kde se očekává vyšší odběr tepla i v teplejších obdobích v roce [68] [69].



Obr. 4.5 Podíl ztrát a vyrobené energie pro elektrárny, výtopny a kogenerační jednotky [67]

5 TVORBA BILANCE A STATISTIK TĚŽBY A ENERGETICKÉHO VYUŽÍVÁNÍ BIOMASY

Kapitola pojednává o statistickém přehledu výroby elektřiny a tepla z obnovitelných zdrojů (OZ), především biomasy. Dále je zaměřena na vývoj těžby a s tím úzce související obnovu vytěžené plochy. Údaje jsou vztaženy k České republice.

5.1 Výroba elektřiny a tepla z OZ

Na následující tabulce je možné si všimnout, jaký podíl zaujímají OZ na výrobě elektřiny. Přibližně 10 % pochází z OZ. Základní část hrubé výroby elektřiny pokrývá kombinace uhelných, jaderných a plynových elektráren.

Tab. 5.1 Výroba elektřiny z OZ v roce 2017 [70]

	Hrubá výroba elektřiny (MWh)	Podíl na hrubé výrobě elektřiny (%)
Vodní elektrárny	1 869 465	2,15
Větrné elektrárny	591 038	0,68
Fotovoltaické elektrárny	2 193 368	2,52
Biomasa	2 213 397	2,54
Bioplyn	2 640 218	3,03

Tabulka 5.2 je zaměřena na výrobu tepla z OZ. Největší část výroby tepla pochází z domácností. Nicméně se jedná pouze o odhad. Spotřeba biomasy mimo domácnosti už je lépe podchycena, tedy i následná výroba tepla [70].

Tab. 5.2 Výroba tepla OZ v roce 2017 [70]

	Hrubá výroba tepla (GJ)
Biomasa celkem	78 803 611
Biomasa mimo domácnosti	21 940 177
Biomasa domácnosti	56 863 434
Bioplyn celkem	4 618 366
Biologický rozložitelná část TKO	2 420 024
Tepelná čerpadla	5 223 499
Solární termální systémy	826 865

5.2 Energetické využití dle typu biomasy

Následující dvě tabulky se týkají pouze zdrojů (mimo domácnost), které jsou měřitelné. Hlavním typem biomasy na výrobu elektřiny i tepla je dřevní štěpka. Na energetické účely se ročně spotřebuje okolo 4,5 milionu tun pevné biomasy.

Tab. 5.3 Výroba elektřiny a tepla podle typu biomasy v roce 2017 [70]

Palivo	Hrubá výroba elektřiny (MWh)	Hrubá výroba tepla (GJ)
Palivové dřevo	56	673 578
Dřevní štěpka, odpad	1 133 382	11 464 006
Celulóznové výluhy	704 460	8 103 959
Rostlinné materiály	96 495	635 728
Brikety a pelety	274 765	1 056 281
Kapalná biopaliva	4 240	6 624
Celkem	2 213 397	21 940 177 (mimo domácnosti)

Tab. 5.4 Energetické využití pevné biomasy v roce 2017 (tuny) [70]

Palivo	Na výrobu elektřiny	Na výrobu tepla	Celkem
Dřevní odpad, štěpka, piliny atd.	1 123 599	1 401 504	2 525 103
Palivové dřevo	58	64 757	64 815
Rostlinné materiály	95 231	57 986	153 217
Brikety a pelety	185 211	76 087	261 299
Celulóznové výluhy	401 605	1 049 435	1 451 040
Celkem	1 805 704	2 649 770	4 455 473

5.3 Vývoj těžby, holin a zalesňování

Na první tabulce si lze všimnout rostoucího trendu těžby dřeva. Samozřejmě nejen kvůli větší potřebě energie, ale také kvůli vyspělejšími technologiím. Růst těžby dřeva je v dnešní době zvýšen i kvůli kůrovci. Bylo by zajímavé mít data i z roku 2018, ale lze očekávat ještě více vytěženého dřeva.

Tab. 5.5 Vývoj těžby dřeva (jednotka: tisíc m³) [70]

Rok	Těžba dřeva celkem	z toho těžba palivového dříví	Rok	Těžba dřeva celkem	z toho těžba palivového dříví
1950	7 449	960	2011	15 381	1 914
1960	8 046	902	2012	15 061	2 020
1970	10 178	784	2013	15 331	2 182
1980	13 626	950	2014	15 476	2 111
1990	13 332	1 301	2015	16 163	2 336
2000	14 441	940	2016	17 617	2 344
2010	16 736	1 965	2017	19 387	2 376

Po těžbě dřeva zůstávají vykácené plochy, které se nazývají holiny. Snahou je tyto holiny opět zalesnit. Dle tab. 5.6 lze mezi léty 2010-2017 pozorovat sestupný trend této plochy. Důležitým údajem je „Plocha holin k 31.12.2017“, kde vzhledem ke kůrovcové kalamitě prudce narůstá.

Tab. 5.6 Bilance holin a zalesňování (v ha) [71]

Rok	Plocha holin k 1. 1.	Přírůstek plochy holin během roku celkem	Úbytek holin během roku celkem	Plocha holin k 31.12.	Zalesňování (umělé)
2010	25 046	25 600	25 795	24 851	21 859
2011	24 851	25 056	25 884	24 023	21 755
2012	24 023	24 511	24 506	24 028	19 903
2013	24 028	23 537	24 467	23 098	19 920
2014	23 098	23 495	24 449	22 144	20 203
2015	22 144	22 345	22 694	21 795	18 797
2016	21 795	23 111	23 513	21 393	19 929
2017	21 393	26 300	23 542	24 151	19 973

6 VYBRANÉ ENERGETICKÉ ZDROJE

6.1 Teplárna Třebíč

Teplárna Třebíč zajišťuje dodávky tepla pro řadu odběratelů v Třebíči. Soustava se skládá ze tří vícepalivových tepelných zdrojů, a to z teplárny Sever, Jih, Západ, které patří pod společnost TTS energo s.r.o. Celková produkce tepla z biomasy se pohybuje okolo 400 000 GJ [72].

6.1.1 Teplárna SEVER

Bývala uhelnou elektrárnou v severní části Třebíče. Od roku 2000 se začala rekonstruovat na vícepalivový tepelný zdroj. Dnes se zde spaluje dřevní biomasa, sláma, zemní plyn a LTO (lehké topné oleje) [73].

6.1.2 Teplárna JIH

V roce 2007 se taktéž zrekonstruovala z mazutové kotelny na vícepalivový tepelný zdroj. Spalují se v ní stejné suroviny jako v teplárně SEVER [74].

6.1.3 Teplárna ZÁPAD

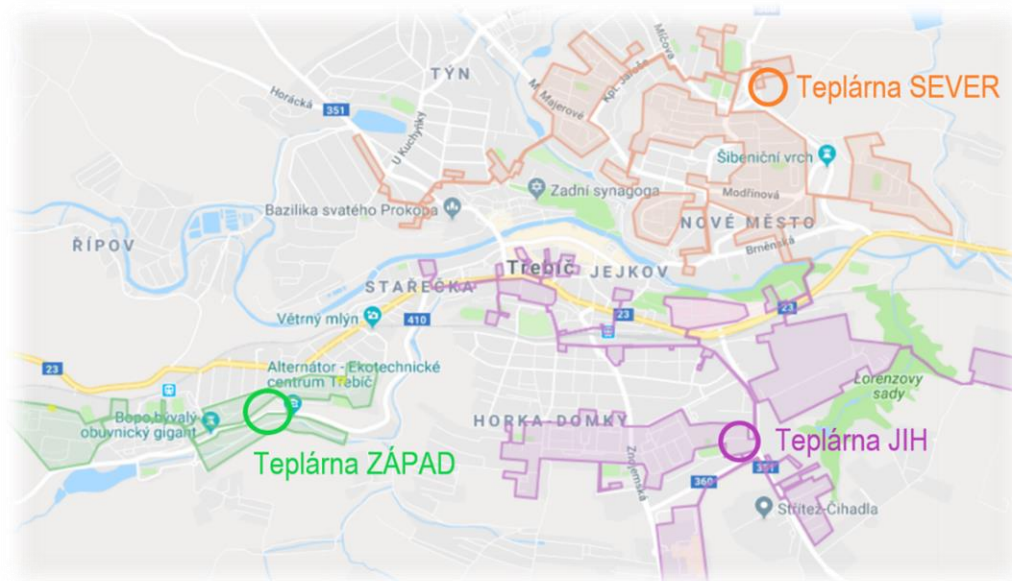
Byla uvedena do provozu v roce 2009. Palivo je zde obdobné jako u ostatních tepláren v Třebíči. Záložní zdroje pro západní část Třebíče jsou blokové kogenerační kotelny na zemní plyn B1 a B2 [75].

Tab. 6.1 Tepelný a elektrický výkon kotelen B1 a B2 [76] [77]

	Kotelna B1	Kotelna B2
Celkový tepelný výkon	7,9 MW	6,3 MW
Celkový elektrický výkon	850 kW	385 kW

Tab. 6.2 Základní parametry jednotlivých tepláren [73] [74] [75]

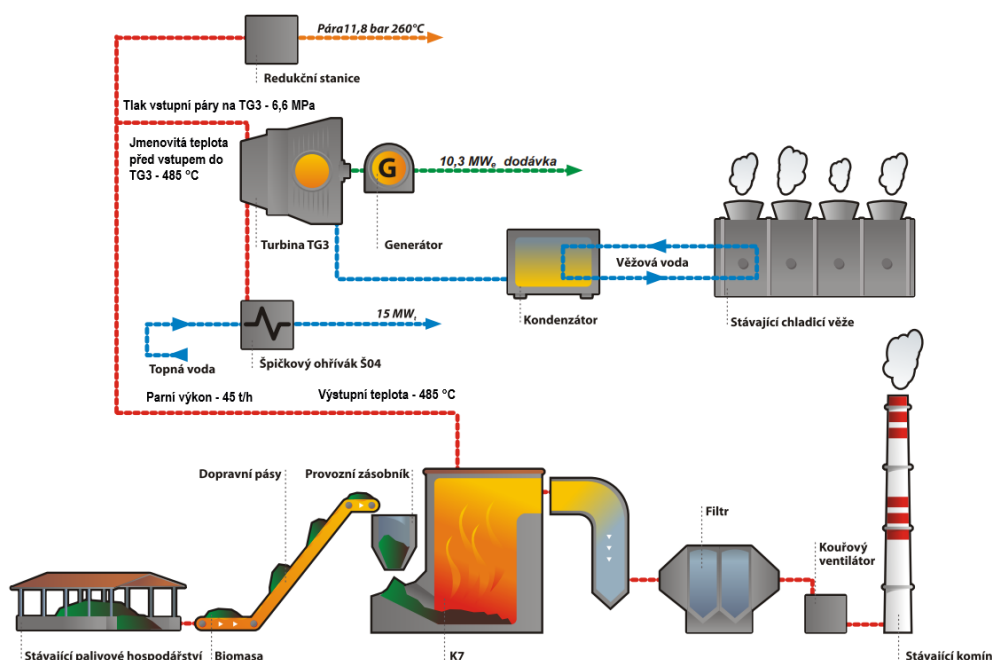
	SEVER	JIH	ZÁPAD
Celkový tepelný výkon	40,5 MW	29,3MW	10,1 MW
Celkový elektrický výkon	1662 kW	680 kW	390 kW
Celková délka teplovodního potrubí	44 172 m	30 940 m	14 900 m
Celkový počet napojených objektů	5856	1903	1928
Akumulátor tepla o objemu	1800 m ³	2800 m ³	1600 m ³



Obr. 6.1 Orientační tepelné rozvody [72]

6.2 Teplárna Plzeň – „Bioblok“

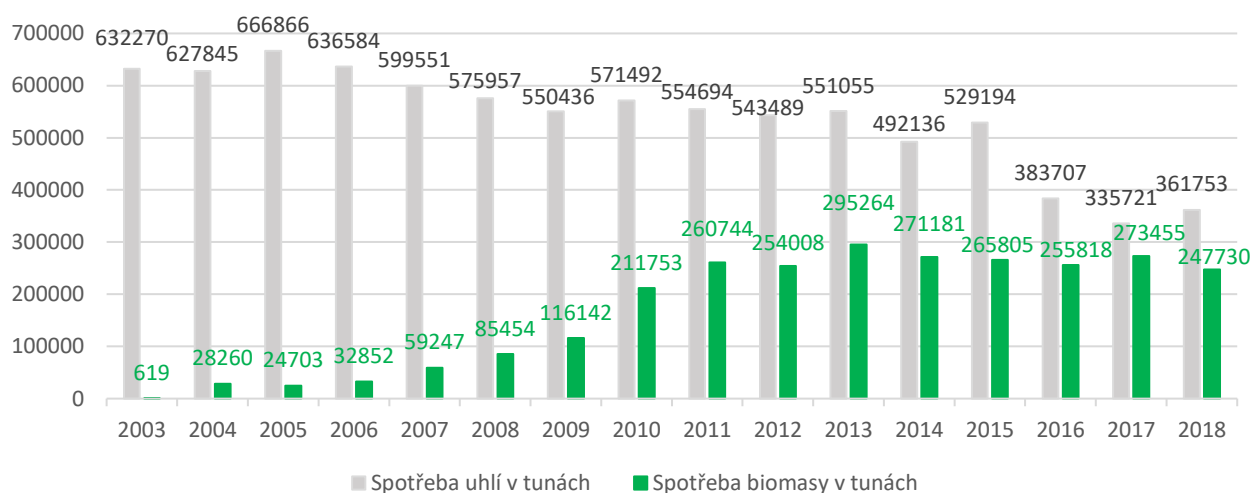
Plzeňská teplárna se skládá z několika jednotek. Jednou z nich je Bioblok, ve které se spaluje pouze čistá biomasa. První návrhy se zrodily v roce 2002. Následně v roce 2008 se začalo s výstavbou „zeleného“ energetického výrobního bloku a na jaře 2010 se uvedl do provozu. V této jednotce se nachází kotel K7 a turbosoustrojí TG3 s tepelným výměníkem ŠO4. Blok s parním kotlem K7 dosahuje elektrického výkonu 10,3 MW a tepelného výkonu maximálně 15 MW [78].



Obr. 6.2 Zjednodušené schéma „Biobloku“ [79]

Vstupním materiálem je nekontaminovaná biomasa, která splňuje veškerá legislativní nařízení. Materiál by měl být dodán ve formě dezintegrovaného materiálu okolo 10 cm s výhřevností 7,5 až 13 MJ/kg a vlhkostí 30 až 50 %. Neměl by obsahovat žádné nežádoucí příměsi. Možnou dodávkou pak mohou být i pelety s výhřevností 13 až 16 MJ/kg s vlhkostí 7,5 až 16 %. Dodaný materiál je z cíleně pěstovaných energetických plodin a dřevin, zbytků z lesnictví, zelená štěpka, dřevní štěpka, sláma olejin apod. Celková spotřeba biomasy pro Bioblok se pohybuje okolo 110 000 tun za rok [80].

Na následujícím grafu je spotřeba uhlí a biomasy pro celou teplárnu včetně kotlů, které spalují uhlí. Z grafu je patrné, že biomasa nahrazuje uhlí. Důležitým rokem je rok 2010, kdy byl do provozu uveden Bioblok. Lze si všimnout, že spotřeba biomasy vzrostla přibližně o 100 000 tun oproti roku 2009.



Obr. 6.3 Spotřeba uhlí a biomasy v letech 2003-2018 [80] [81]

6.3 Elektrárna Hodonín

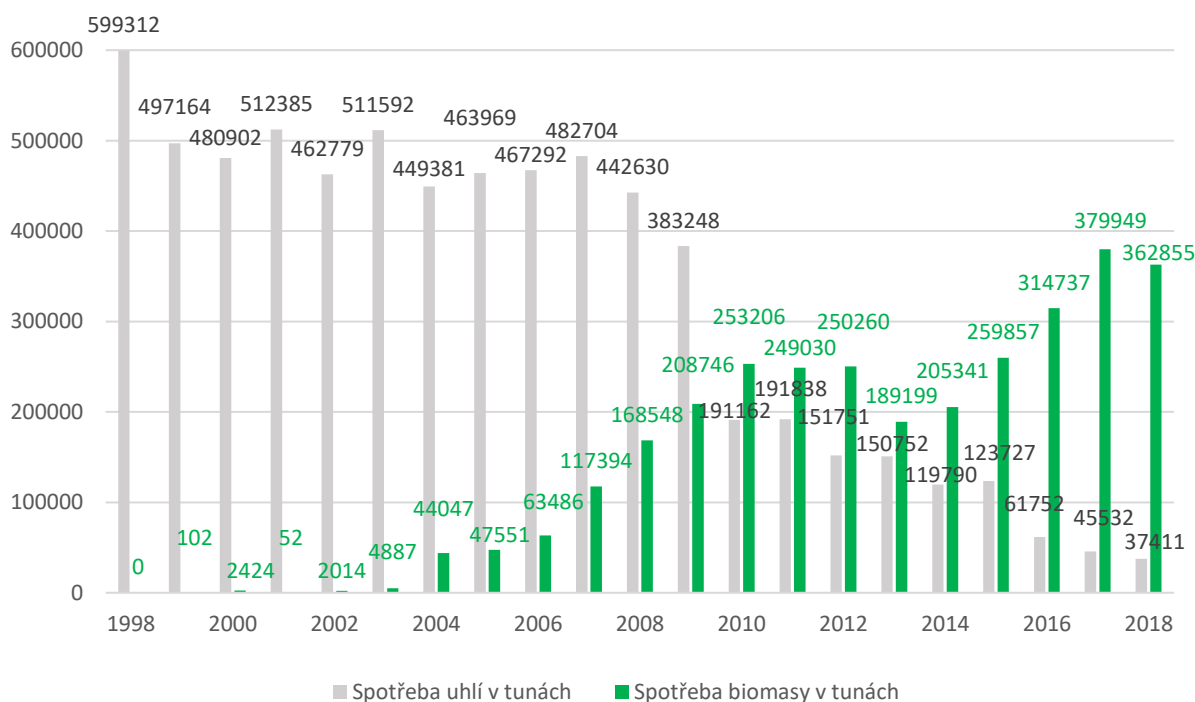
Elektrárna Hodonín spadá pod Skupinu ČEZ Teplárenská, a.s. V roce 2009 se v hodonínské elektrárně začala spalovat převážně čistá biomasa [82]. Dle vyjádření specialisty na řízení provozu, získaného při osobní návštěvě hodonínské elektrárny dne 15. 4. 2019, do zdejší elektrárny přijíždí každý pracovní den 70-100 kamionů, přičemž každý dováží až 20 tun biomasy. O víkendech se biomasa nedováží. Vzhledem ke kvalitě se dováží dva typy biomasy. Kvalitní biomasa obsahuje dřevní štěpku a dřevní odpad. Méně kvalitní je z velké části složena z hrabanky, má typicky nahnědlou barvu. Elektrárnu zásobuje celkem 8 dodavatelů a jedním z nich je pila. Aktuálně je biomasy dostatek vzhledem ke kůrovcové kalamitě. I přesto se poměrně často vyskytují nekvalitní dodávky. Vyskytují se 2 typy nekvalitní dodávky. První je tzv. „sendvič“, kde spodek a vršek je vyplněn kvalitní biomasou a prostředek je zaplněn nekvalitní biomasou. Druhým typem je dodávka, která obsahuje kameny. Nekvalitní dodávky se posílají zpět k dodavateli. Každý kamion vysype náklad na plošinu, kde proběhne vizuální kontrola kvality dodávky. Vysypaná biomasa se následně rozprostře po plošině, odkud je odebráno 10 vzorků z různých míst. Vzorky putují do laboratoře, kde se nejprve vysuší a pak rozemelou. Z rozemletého vzorku se udělá malá peletka, která se spálí. Pro každý vzorek se stanoví celková voda, obsah popela, obsah analytické vody, obsah C, H, N, S, spalné teplo a výpočet výhřevnosti [83]. Následně se daná dodávka příslušně finančně ohodnotí.

Biomasa putuje na dopravník a do třídiče, který je složen z magnetů a třídiče nadrozměrných kusů (nad 50 mm). Vzhledem k absenci třídiče kamení způsobuje kámen v dodávce značný problém. Hromadí se totiž na dně kotle, kde vzniká až půl metru tlustá vrstva. To má za následek časté odstávky. V kotlích se spaluje pouze čistá biomasa. Z důvodu dotací se nikdy nespaluje biomasa společně s uhlím. Ke každému kotli je umístěn ocelový zásobník na 60 tun biomasy. Naplnění zásobníků zajišťují dvě dopravní linky.

Tab. 6.3 Parametry totožných fluidních kotlů

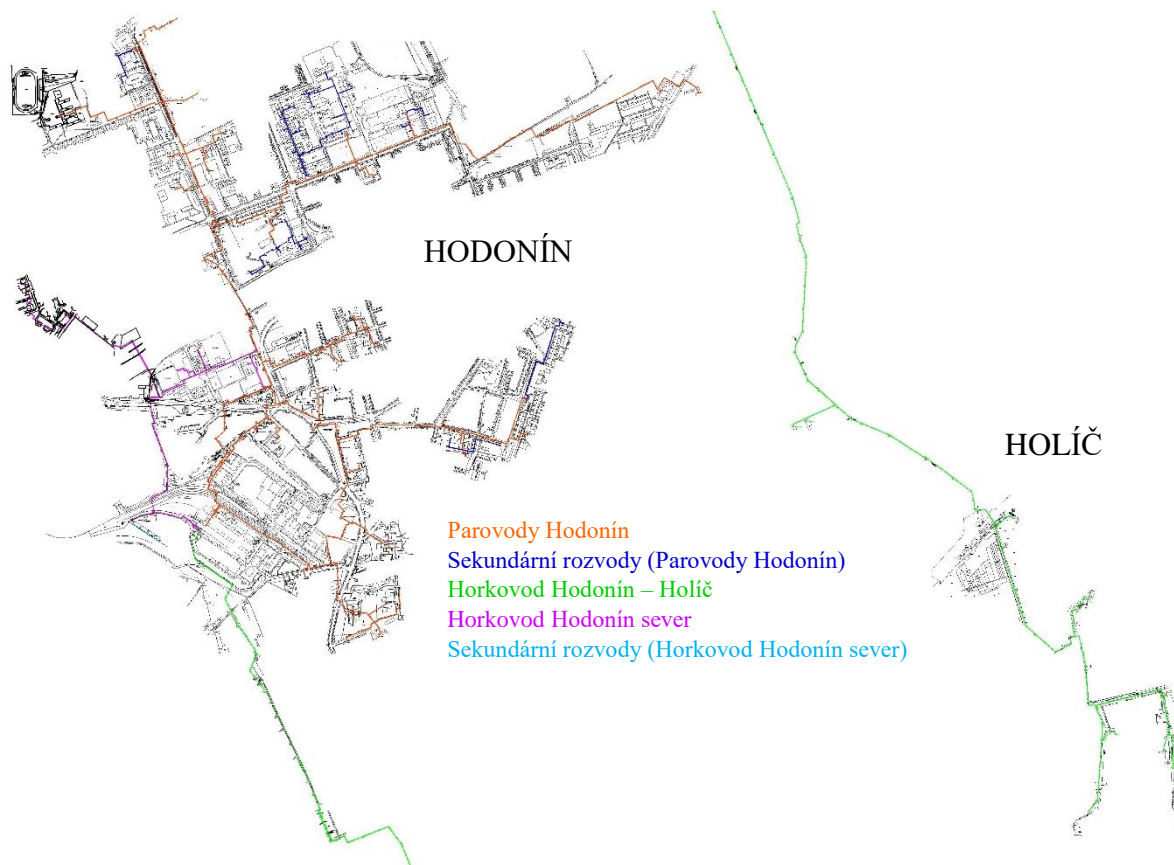
	FK₁ = FK₂
Tepelný výkon	132,5 MW _t
Parní výkon	178,5 t/h
Jmenovitý parní výkon	170 t/h
Jmenovitý tlak	9,7 MPa
Jmenovitá teplota páry	510 °C

Graf na obr. 6.4 ukazuje vývoj spotřeby uhlí a biomasy. Přelomovým rokem byl rok 2009, kdy se začalo se spalováním čisté biomasy. Pokles spotřeby uhlí mezi léty 2009 a 2010 byl téměř 200 000 tun uhlí. Lze si všimnout vzrůstajícího trendu biomasy oproti uhlí.



Obr. 6.4 Spotřeba uhlí a biomasy v letech 1998-2018

Elektrárna Hodonín má 14,502 km parních, 10,445 km teplovodních a 22,193 km horkovodních sítí. Z horkovodních sítí se na území ČR nachází 9,709 km. Sít' je vedena na Slovensko do města Holíč, kde je 12,484 km horkovodních sítí. Aktuálním problémem elektrárny Hodonín je přebytečné teplo. Dřívější plány počítaly s větším odběrem tepla, proto se sít' zavedla i na Slovensko. Nicméně dnes by se rozvody do Holíče nevedly. Tyto rozvody jsou aktuálně hodně předimenzované. Hlavním záměrem je stavba chladicí věže.



Obr. 6.5 Tepelné rozvody elektrárny Hodonín

6.4 Shrnutí

Kapitola je zaměřená na energetické zdroje, konkrétně teplárna Třebíč od společnosti TTS energo s.r.o., teplárna Plzeň a elektrárna Hodonín Skupiny ČEZ. Všechny tyto zdroje spalují čistou biomasu. Je to hlavně kvůli dotacím, protože na spalování čisté biomasy je největší finanční podpora. Nejvýkonnější je elektrárna Hodonín, která má nainstalované dva fluidní kotle K₁ a K₂. Každý má tepelný výkon 132,5 MW. Spotřeba biomasy má rostoucí tendenci. Výrobu tepla v Třebíči zabezpečují tři teplárny – Sever, Jih a Západ. Celkový instalovaný tepelný výkon je přibližně 90 MW a elektrický výkon 3 MW. V Plzni se o teplo částečně stará Bioblok s tepelným výkonem 15 MW a elektrickým 10,3 MW. Ročně si tento blok vyžádá přibližně 110 000 tun biomasy.

7 ZÁVĚR

V úvodu práce byl definován pojem biomasa. Biomasa patří do obnovitelných a ekologických zdrojů. Je zde vysvětleno, proč se biomasa bere za zdroj, který tolik neznečišťuje ovzduší. Dále je v úvodu možné se dočíst, za jakých podmínek má biomasa nejlepší vlastnosti k energetickému využití, konkrétně ke spalování. Je zde vysvětlen rozdíl mezi spalným teplem a výhřevností.

Třetí kapitola se zabývá možnostmi zpracování biomasy. Mezi ně patří termické, termochemické, biochemické, fyzikálně-chemické a mechanické zpracování. Prvotní myšlenka spočívá v nulové bilanci CO₂ a druhotná ve využití biologicky rozložitelných komunálních odpadů. Pro různé technologie se vstupní materiály liší. Ve většině případů se materiál záměrně pěstuje jako např. řepka, dřevo apod. Jak z první kapitoly vyplývá, tak energetická hodnota rostliny se vztahuje i na kvalitu půdy. Energetické rostliny se pěstují na místech orné půdy. Otázkou tedy je, jestli je to správné.

Osobně si myslím, že budoucí energetický mix bude složen z obnovitelných zdrojů a jaderné energetiky, pokud se nevynalezne lepší technologie. Vzhledem k problematice globálního oteplování spojené s nedostatkem vody budou růst ceny potravin a samozřejmě i energetické biomasy. Z toho plyne, zda a do jaké míry se budou pěstovat energetické plodiny. Jelikož zpracování a přeprava biomasy není zrovna energeticky a finančně laciná záležitost, tak bude zajímavé sledovat, do kdy bude biomasa stále atraktivní.

V páté kapitole je tabulkově zpracováno kolik elektřiny a tepla se vyrobilo z obnovitelných zdrojů za rok 2017, kolik a z jakého typu biomasy se elektřina a teplo vyrobily za rok 2017. V posledních dvou tabulkách je zpracován vývoj těžby dřeva a přehled vývoje holin a zalesnění. Kůrovcová kalamita aktuálně hýbe s hodnotami, které bohužel doposud nejsou zpracované. Množství napadených a pokácených stromů je tak vysoký, že je nyní přebytek biomasy. Další otázkou je, jaký bude stav lesů po skončení kůrovcové kalamity a jak to ovlivní energetické zdroje využívající biomasu.

Podle mého názoru jsou malé energetické zdroje využívající biomasu vhodné pro lokální spotřebu, kde jsou potenciální dodavatelé. Takže výkony zdrojů na biomasu by nebyly nijak zvlášť vysoké a velké výkony by zajišťovaly jaderné elektrárny. Na návštěvě elektrárny Hodonín jsem viděl, jak přijíždí jeden kamion za druhým. Zamýšlel jsem se nad tím, zda je správné dovážet štěpku až ze severu Moravy. Dle mého mínění, by měly zdroje na biomasu využít svého lokálního potenciálu. Produkce biomasy by měla odpovídat spotřebě dané oblasti, tak aby se nemusela dovážet z velkých vzdáleností.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. Praha: Grada, 2010. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [2] KLASS, Donald L. *Biomass for Renewable Energy. Fuels, and Chemicals* [online]. London: Academic Press, 1998 [cit. 2019-04-12]. ISBN 978-0-12-410950-6. Dostupné z: https://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=udDHC3Ss7DAC&oi=fnd&pg=PP1&dq=biomass+renewable+energy&ots=Q2acbd8tnu&sig=QH1RHXPchVuoh9QzTRFpal0b1UE&redir_esc=y#v=onepage&q=ISBN&f=false
- [3] TEPLÁ, Milada. *Fotosyntéza* [online]. KUDCH, PřF UK v Praze, 2013 [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <http://www.studiumbiochemie.cz/fotosynteza.html>
- [4] *Jak funguje výroba energie z biomasy* [online]. ČEZ: Skupina ČEZ, 2019 [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/biomasa/flash-model-jak-funguje-vyroba-energie-z-biomasy.html>
- [5] *Je s námi konec?* [dokumentární film]. Scénář Mark MONROE a režie Fisher STEVENS. USA, 2016 [cit. 2019-04-12]
- [6] CIOLKOSZ, Daniel. *Characteristics of Biomass as a Heating Fuel* [online]. 2010 [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <https://extension.psu.edu/characteristics-of-biomass-as-a-heating-fuel>
- [7] PASTOREK, Zdeněk, Jaroslav KÁRA a Petr JEVIČ. *Biomasa: obnovitelný zdroj energie*. Praha: FCC PUBLIC, 2004. ISBN 80-86534-06-5.
- [8] BERANOVSKÝ, Jiří, Monika KAŠPAROVÁ, František MACHOLDA, Karel SRDEČNÝ a Jan TRUXA. *Energie biomasy* [online]. EkoWATT, 2007 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <http://ekowatt.cz/cz/informace/obnovitelne-zdroje-energie/energie-biomasy>
- [9] *BIORESOURSE-BASED ENERGY: FROM ENERGY VECTORS TO MOLECULES OF INTEREST Wet Biomass* [online]. 2016 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <http://liten.cea.fr/cea-tech/liten/en/Pages/techno%20Low%20carbon%20energies/WetBiomass.aspx>
- [10] *Energie z biomasy* [online]. SPVEZ [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <http://www.spvez.cz/pages/OZE/biomasa.htm>
- [11] BOBBY. *RENEWABLE POWER SOURCES: Thermal and Thermochemical Conversion of Biomass into Energy* [online]. 2014 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://www.upsbatterycenter.com/blog/thermal-thermochemical-conversion-biomass-energy/>
- [12] ZAFAR, Salman. *Summary of Biomass Combustion Technologies* [online]. BioEnergy Consult, 2019 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://www.bioenergyconsult.com/tag/biomass-combustion-process/>

- [13] BALÁŠ, Marek. *Kotle a výměníky tepla*. Vydání 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4770-7.
- [14] ZAFAR, Salman. *Biomass Pyrolysis Process* [online]. BioEnergy Consult, 2018 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://www.bioenergyconsult.com/biomass-pyrolysis-process/>
- [15] ZAFAR, Salman. *Overview of Biomass Pyrolysis* [online]. BioEnergy Consult, 2018 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://www.bioenergyconsult.com/biomass-pyrolysis/>
- [16] ZAFAR, Salman. *BIOMASS PYROLYSIS* [online]. 2009 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://www.altenergymag.com/article/2009/02/biomass-pyrolysis/502/>
- [17] *Slow Pyrolysis* [online]. engineers without borders australia [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://www.ewb.org.au/explore/initiatives/openchar/techproduction/slowpyrolysis>
- [18] *Pyrolýzní zpracování biomasy a jiných materiálů* [online]. Mendolova univerzita v Brně [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/files/211/17221.pdf
- [19] *Fast Pyrolysis Process* [online]. Avello Bioenergy, © 2019 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: http://www.avellobioenergy.com/en/technology/fast_pyrolysis/
- [20] *Torrefaction* [online]. BTG Biomass Technology Group, ©2019 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <http://www.btgworld.com/en/rtd/technologies/torrefaction>
- [21] POHOŘELÝ, Michal a Michal JEREMIÁŠ. *Zplyňování biomasy – možnosti uplatnění* [online]. 2010 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/zplynovani-biomasy-moznosti-uplatneni>
- [22] PEER, Václav a Pavel FRIEDEL. *Zplyňování – principy a reaktory* [online]. tbzinfo, 2016 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-tuhymi-palivy/13729-zplynovani-principy-a-reaktory>
- [23] ZAFAR, Salman. *Biomass Gasification Process*[online]. BioEnergy Consult, 2018 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://www.bioenergyconsult.com/biomass-gasification/>
- [24] DUDÍK, Ondřej. *Aplikace teorie učebních textů na příkladu energetického využití biomasy* [online]. Olomouc, 2017 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: https://theses.cz/id/6i6ojj/Diplomov_prce_Dudk.pdf. Diplomová práce. UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI. Vedoucí práce Martin Havelka.
- [25] KÁRA, Jaroslav, Zdeněk PASTOREK a Antonín JELÍNEK. *Kompostování zbytkové biomasy* [online]. Biom.cz, 2002 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/kompostovani-zbytkove-biomasy>
- [26] ČERVENÁ, Kristýna, Barbora LYČKOVÁ a kolektiv. *Fáze procesu kompostování* [online]. Ostrava: VŠB -TU [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: http://hgf10.vsb.cz/546/bmzo/pages/Faze_procesu_kompostovani.html

- [27] VÁŇA, Jaroslav. *Kompostování bioodpadu* [online]. Biom.cz, 2001 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/kompostovani-bioodpadu>
- [28] VÁŇA, Jaroslav. *Kompostování odpadů* [online]. Biom.cz, 2002 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/kompostovani-odpadu>
- [29] HROMÁDKO, Jan, Jiří HROMÁDKO a kolektiv. *Výroba bioetanolu* [online]. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2010 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: http://www.cukr-listy.cz/on_line/2010/PDF/267-271.PDF
- [30] KHAN AND DWIVEDI. *Fermentation* [online]. European Biomass Industry Association, 2013 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <http://www.eubia.org/cms/wiki-biomass/fermentation/>
- [31] REINBERGR, Oldřich. *Podpora rozvoje a užití bioetanolu v České republice* [online]. Biom.cz, 2010 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/podpora-rozvoje-a-uziti-bioetanolu-v-ceske-republice>
- [32] *Anaerobní technologie* [online]. BIOPROFIT, ©2007 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: http://www.bioplyn.cz/at_popis.htm
- [33] DOHÁNYOS, Michal. *Anaerobní reaktor není černou skříňkou - teoretické základy anaerobní fermentace* [online]. Biom.cz, 2008 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/anaerobni-reaktor-neni-cernou-skrinkou-teoreticke-zaklady-anaerobni-fermentace>
- [34] *Organická hnojiva ostatní* [online]. AF MENDELU, 2019 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=1674&typ=html
- [35] *Dry fermentation* [online]. Horovce: BIOTEC [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <http://www.bioteck.eu/en/services/biogas-station/dry-fermentation>
- [36] ŠKORVAN, Ondřej. *Suchou, nebo mokrou fermentaci?* [online]. ASIO, spol. s r.o., Botanický ústav AV ČR, v.v.i., VŠCHT Praha, 2012 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://www.odpady-online.cz/suchou-nebo-mokrou-fermentaci/>
- [37] ČERVENÁ, Kristýna, Barbora LYČKOVÁ a kolektiv. *Bioplynová stanice* [online]. VŠB -TU Ostrava [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: http://hg10.vsb.cz/546/bmzo/pages/Bioplynova_stanice.html
- [38] OCHOTEK, Tadeáš, Jan KOLONIČNÝ a Michal BRANC. *Technologie pro přípravu a energetické využívání biomasy* [online]. Ostrava: Repronis, 2007 [cit. 2019-04-13]. ISBN 978-80-248-1426-1. Dostupné z: <http://www.biomasa-info.cz/cs/doc/tech.pdf>
- [39] MOUDRÝ, Jan a Jana KALINOVÁ. *Energetické využití biomasy. Pěstování speciálních plodin* [online]. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2004 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: http://www2.zf.jcu.cz/~moudry/skripta/4/energie_biomasy.html
- [40] ŠJŮ. *Bionafta* [online]. Vitejtenazemi.cz [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=bionafta&site=doprava>

- [41] MPO. *Dlouhodobá strategie využití biopaliv v České republice* [online - příloha]. MPO, 2006 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/plynarenstvi-a-kapalna-paliva/dlouhodobá-strategie-vyuziti-biopaliv-v-cr--5489/>
- [42] SKOPAL, František, Martin HÁJEK, Petr KUTÁLEK a Jaroslav KOCÍK. *Bionafta (FAME) - náhrada za fosilní naftu* [online]. Katedra fyzikální chemie: Pardubice [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: http://kfch.upce.cz/htmls/vedecka_cinnost_bionafta.htm
- [43] *Technologie: Fyzikálně-chemické přeměny - Esterifikace* [online]. biomasa-info.cz [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <http://www.biomasa-info.cz/cs/techeste.htm>
- [44] ZAFAR, Salman. *Waste to Energy Conversion Routes* [online]. BioEnergy Consult, 2019 [cit. 2019-04-14]. Dostupné z: <https://www.bioenergyconsult.com/?s=mechanical+conversion>
- [45] SOUČEK, Jiří. *DRTIČE, ŠTĚPKOVAČE A ŘEZAČKY PRO ÚPRAVU ROSTLINNÉ BIOMASY* [online]. vuzt: Praha, 2008 [cit. 2019-04-14]. ISBN 978-80-86884-31-8. Dostupné z: <http://www.vuzt.cz/svt/vuzt/publ/P2008/049.Pdf>
- [46] PŘÍHODA, Jan. *Technologie pro zpracování dendromasy - těžebních zbytků* [online]. Biom.cz, 2008 [cit. 2019-04-14]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/technologie-pro-zpracovani-dendromasy-tezebnich-zbytku>
- [47] PŘÍHODA, Jan. *Technologie pro zpracování dendromasy - těžebních zbytků II* [online]. Biom.cz, 2008 [cit. 2019-04-14]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/technologie-pro-zpracovani-dendromasy-tezebnich-zbytku-ii>
- [48] *What is Biomass?* [online]. Froling Energy: Peterborough [cit. 2019-04-14]. Dostupné z: <https://frolingenergy.com/what-is-biomass/>
- [49] HUANG, Jack. *How To Make Wood Pellets --- Wood Pellet Manufacture Steps* [online]. Renewable Energy World, 2016 [cit. 2019-04-14]. Dostupné z: <https://www.renewableenergyworld.com/ugc/articles/2016/05/how-to-make-wood-pellets--wood-pellet-manufacture-steps.html>
- [50] *BIOPALIVA: Dřevní biomasa* [online]. 2008 [cit. 2019-04-14]. Dostupné z: <https://biopaliva.webgarden.cz/rubriky/biomasa/drevni-biomasa>
- [51] *Lis na brikety* [online]. Brikety.org, 2018 [cit. 2019-04-14]. Dostupné z: <https://brikety.org/lis-na-brikety/>
- [52] ZAFAR, Salman. *How is Biomass Transported* [online]. BioEnergy Consult, 2018 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://www.bioenergyconsult.com/biomass-transportation/>
- [53] KAŠINSKÝ, Jan. *Jaký je potenciál využití biomasy v Česku a ve světě* [online]. oenergetice.cz, 2019 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/nazory/jaky-potencial-vyuziti-biomasy-cesku-ve-svete/>

- [54] *Biomass Transportation and Delivery* [online]. extension.org, 2014 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://articles.extension.org/pages/70315/biomass-transportation-and-delivery>
- [55] BALÁŠ, Marek, Martin LISÝ a Jiří MOSKALÍK. *Kotle – 2. část* [online]. tzbinfo, 2012 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://vytapieni.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/8438-kotle-2-cast>
- [56] POLACH, Vladislav. *PARNÍ KOTLE* [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: https://kke.zcu.cz/export/sites/kke/about/projekty/enazp/projekty/01_Stavba-a-provoz-stroju_1-3/1_IUT/005_Parn-kotle---Polach---P0.pdf
- [57] TRÁVNÍČEK, Petr, Ivan VITÁZEK, Tomáš VÍTĚZ, Luboš KOTEK a Petr JUNG. *TECHNOLOGIE ZPRACOVÁNÍ BIOMASY ZA ÚČELEM ENERGETICKÉHO VYUŽITÍ* [online]. Brno: Mendelova univerzita, 2015 [cit. 2019-04-15]. ISBN 978-80-7509-206-9. Dostupné z: https://web2.mendelu.cz/af_291_projekty/files/23/23-technologie_zpracovani_biomasy_za_ucelem_energetickeho_vyuziti_travnicek.pdf
- [58] *FLUIDNÍ SPALOVÁNÍ* [online]. energyweb.cz: © Copyright Simopt, 1999 - 2002 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: http://www.energyweb.cz/web/index.php?display_page=2&subitem=2&slovník_page=fluid_spal.html
- [59] *Kanadská kamna a krby* [online]. krby-turyna.cz [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://www.krby-turyna.cz/kanadska-kamna>
- [60] *Moderní krby a krbová kamna* [online]. krby-turyna.cz [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://www.krby-turyna.cz/moderni-krby>
- [61] *Kotel na dřevo* [online]. Viessmann, spol. s r.o. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/obytno-budovy/kotle-na-biomasu/kotel-na-kusove-drevo.html>
- [62] *Kotle na pelety či kusové dřevo?* [online]. Viessmann, spol. s r.o. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/kotle-na-pelety-ci-kusove-drevo.html>
- [63] WERNER, Uli, Ulrich STOHR a Nicolas HEES. *Biogas Plants in Animal Husbandry* [online]. 1989 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <http://www.nzdl.org/gsdmod?e=d-00000-00---off-0envl--00-0---0-10-0---0---0direct-10---4-----0-11--11-en-50---20-about---00-0-1-00-0-0-11-1-0utfZz-8-10-0-0-11-1-0utfZz-8-00-00&a=d&c=envl&cl=CL1.1&d=HASH0122ae5fa3c7cc8d6abf5b43.7.4>
- [64] PAPEŽ, Karel. *Jak fungují bioplynové stanice* [online]. enviweb.cz, 2015 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <http://www.enviweb.cz/103210>
- [65] *Bioplynové stanice* [online]. Vitejtenazemi.cz, 2013 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=bioplynove_stanice&site=odpady

- [66] *Kogenerační jednotka* [online]. cezenergo.cz: ČEZ [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <http://www.cezenergo.cz/cs/o-kogeneraci/kogeneracni-jednotka.html>
- [67] *Elektrina* [online]. Plzeňská teplárenská, 2019 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://www.pltep.cz/elektrina/>
- [68] *Příklady typického využití kogenerace* [online]. ČEZ Energo, s.r.o. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <http://www.cezenergo.cz/cs/o-kogeneraci/priklady-vyuziti.html>
- [69] *Biogas Plant - Combined Heat & Power Plants (UK)* [online]. Youtube: agriKomp UK, 2014 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=Gky3kEu269U>
- [70] BUFKA, Aleš, Jana VEVERKOVÁ a Diana ANDRONIC. *OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE: Obnovitelné zdroje energie v roce 2017* [online]. MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU, 2018 [cit. 2019-04-17]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/2018/12/Obnovitelne-zdroje-energie-v-roce-2017-new.pdf>
- [71] *Bilance holin a zalesňování* [online]. ČSÚ [cit. 2019-04-17]. Dostupné z: <https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/cs/index.jsf?page=vystup-objekt&pvo=LES04A&pvokc=&katalog=30841&z=T>
- [72] *Teplárna na biomasu Třebíč* [online]. Biom.cz [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/produkty-a-sluzby/mapa-producentu-popela-z-biomasy/teplarna-na-biomasu-trebic>
- [73] *Teplárna SEVER* [online]. TTS energo s.r.o. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://www.ttsenergo.cz/vyroba-a-dodavky-tepla/teplarny/teplarna-sever/>
- [74] *Teplárna JIH* [online]. TTS energo s.r.o. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://www.ttsenergo.cz/vyroba-a-dodavky-tepla/teplarny/teplarna-jih/>
- [75] *Teplárna ZÁPAD* [online]. TTS energo s.r.o. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://www.ttsenergo.cz/vyroba-a-dodavky-tepla/teplarny/teplarna-zapad/>
- [76] *Kotelna B1* [online]. TTS energo s.r.o. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://www.ttsenergo.cz/vyroba-a-dodavky-tepla/teplarny/kotelna-b1/>
- [77] *Kotelna B2* [online]. TTS energo s.r.o. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://www.ttsenergo.cz/vyroba-a-dodavky-tepla/teplarny/kotelna-b2/>
- [78] *Historie* [online]. Plzeňská teplárenská [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://www.pltep.cz/historie/>
- [79] *Zelená energie: Schéma bloku* [online]. Plzeňská teplárenská, a.s [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://www.pltep.cz/zelena-energie/>
- [80] *Zelená energie: Zelená energie* [online]. Plzeňská teplárenská, a.s [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://www.pltep.cz/zelena-energie/>

- [81] *Výroční zpráva 2017: Výroční zpráva* [online]. Plzeňská teplárenská, a.s., 2017 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://www.pltep.cz/vyrocni-zprava-2017/>
- [82] *Elektrárna Hodonín* [online]. 2019 ČEZ [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/uhelne-elektrarny/cr/hodonin.html#zakladni_info
- [83] *Virtuální prohlídka* [online]. ČEZ Energo, s.r.o. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <http://virtualniprohlidky.cez.cz/cez-hodonin/>

9 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka/symbol:	Jednotka:	Název:
H_1	[kg]	hmotnost surové dřevní hmoty
H_2	[kg]	hmotnost vzorku po vysušení
L	[m]	celková délka
L_d	[m]	dohořivací délka
L_s	[m]	sušící délka
$L_{\dot{u}}$	[m]	účinná délka
W	[%]	obsah vody v palivu
C		uhlík
$C_{12}H_{22}O_{11}$		sacharóza
C_2H_5OH		ethanol
$C_6H_{10}O_5$		škrob
$C_6H_{12}O_6$		glukóza
$C_kH_mO_n$		uhlovodík
CO_2		oxid uhličitý
H		vodík
H_2		vodík
H_2O		voda
H_2S		sulfan (=sirovodík)
CH_3COOH		kyselina octová
CH_4		methan
N		dusík
NO		oxid dusnatý
NO_2		oxid dusičitý
O_2		kyslík
S		síra
SO_2		oxid siřičitý
$\check{C}R$		Česká republika
FK		fluidní kotel
HHV		higher heating value
KJ		kogenerační jednotka
LHV		lower heating value
LTO		lehké topné oleje
OZ		obnovitelné zdroje
$PDCs$		Precision Dry Wood Chips
pH		vodíkový exponent

10 SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 2.1 Hodnoty spalného tepla pro daný typ biomasy [6]
- Obr. 2.2 Závislost výhřevnosti a spalného tepla na obsahu vlhkosti [6]
- Obr. 3.1 Autotermní zplyňování a alotermní zplyňování [21]
- Obr. 3.2 Schéma výroby bioetanolu z lignocelulózové biomasy [29]
- Obr. 3.3 Schéma výroby bioetanolu z biomasy obsahující jednoduché cukry [29]
- Obr. 3.4 Schéma výroby bioetanolu z biomasy obsahující škrob [29]
- Obr. 3.5 Blokové schéma výroby bionafty [41]
- Obr. 3.6 Nejčastěji používané systémy drcení [45]
- Obr. 3.7 Schéma sekacího ústrojí diskové sekačky [7]
- Obr. 3.8 Nejčastěji používané systémy štěpkování (zleva: bubnové, kolové, šnekové) [45]
- Obr. 4.1 Biomasa o stejné váze zaujímající rozdílný objem [54]
- Obr. 4.2 Délka (plocha) roštu [56]
- Obr. 4.3 Schéma spalovacího řetězce
- Obr. 4.4 Schéma bioplynového řetězce
- Obr. 4.5 Podíl ztrát a vyrobené energie pro elektrárny, výtopny a kogenerační jednotky [67]
- Obr. 6.1 Orientační tepelné rozvody [72]
- Obr. 6.2 Zjednodušené schéma „Biobloku“ [79]
- Obr. 6.3 Spotřeba uhlí a biomasy v letech 2003-2018 [80] [81]
- Obr. 6.4 Spotřeba uhlí a biomasy v letech 1998-2018
- Obr. 6.5 Tepelné rozvody elektrárny Hodonín

11 SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1 Složení vybraných paliv [6]

Tab. 2.2 Velikost a hustota paliv [6]

Tab. 5.1 Výroba elektřiny z OZ v roce 2017 [70]

Tab. 5.2 Výroba tepla OZ v roce 2017 [70]

Tab. 5.3 Výroba elektřiny a tepla podle typu biomasy v roce 2017 [70]

Tab. 5.4 Energetické využití pevné biomasy v roce 2017 (tuny) [70]

Tab. 5.5 Vývoj těžby dřeva (jednotka: tisíc m³) [70]

Tab. 5.6 Bilance holin a zalesňování (v ha) [71]

Tab. 6.1 Tepelný a elektrický výkon kotelen B1 a B2 [76] [77]

Tab. 6.2 Základní parametry jednotlivých tepláren [73] [74] [75]

Tab. 6.3 Parametry totožných fluidních kotlů